

Bibliothèque technologique

Albert Turpain

Les Applications pratiques des Ondes électriques

C. NAUD. Éditeur

C.A. Chant

1902

LES APPLICATIONS PRATIQUES

DES

ONDES ÉLECTRIQUES

LES APPLICATIONS PRATIQUES

DES

ONDES ÉLECTRIQUES

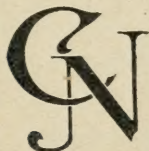
TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

TÉLÉGRAPHIE AVEC CONDUCTEUR — ÉCLAIRAGE
COMMANDE A DISTANCE

PAR

ALBERT TURPAIN

Docteur ès sciences,
Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences
de l'Université de Bordeaux.



PARIS

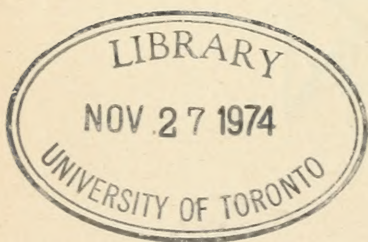
ANC^ne^ LIB^rie^ G. CARRÉ ET C. NAUD

C. NAUD, ÉDITEUR

3, RUE RACINE, 3

—

1902


LIBRARY
NOV 27 1974
UNIVERSITY OF TORONTO

INTRODUCTION

Bien que la découverte de Hertz date à peine de douze ans, les oscillations électriques n'ont pas seulement été l'objet de nombreuses et importantes recherches de laboratoire ; elles ont également pénétré le domaine des applications pratiques.

Grâce à la découverte de la radioconduction par M. Branly et à l'heureuse application que sut en faire M. Marconi, la télégraphie sans fil est devenue autre chose qu'une curieuse expérience de physique. Les divers essais, couronnés de toutes parts d'un succès croissant, en ont fait une des solutions pratiques les plus complètes de l'intéressant problème des communications à petite distance.

Les ondes électriques semblent encore promettre des applications non moins heureuses à la télégraphie avec conducteur. Peut-être même n'est-il pas illusoire d'espérer qu'elles constitueront un jour un nouveau mode d'éclairage électrique.

Nous avons cru que la réunion de tout ce qui a été tenté relativement à ces diverses applications pouvait présenter quelque utilité en marquant à quel point se trouvait chacune d'elles.

C'est la raison qui nous a engagé à écrire ce livre.

Nous avons pensé qu'il était préférable de ne pas fatiguer dès l'abord le lecteur désireux de prendre connaissance de la production et de l'utilisation des ondes électriques, soit par une discussion très approfondie de certains phénomènes (en particulier de celui de la radioconduction), soit par l'exposé détaillé de quelques dispositifs télégraphiques un peu compliqués.

Le corps même de l'ouvrage ressortit donc plus à la vulgarisation qu'à la technique.

On trouvera peut-être que nous nous sommes étendus un peu trop sur ce qui touche à l'entretien d'un excitateur d'ondes électriques en activité et que nous avons donné une grande extension à la description des sources d'électricité et des interrupteurs. Ce chapitre pourra même paraître d'autant plus chargé que nous n'avons rien réservé, le concernant, dans l'appendice. — La raison en est due à l'importance qui s'attache au choix d'un bon interrupteur et d'une excellente bobine pour obtenir la répétition des divers phénomènes décrits. L'obtention d'étincelles longues et fournies demande en effet un interrupteur de choix ; l'intensité des effets obtenus dépend en outre des qualités de la bobine d'induction utilisée.

Ayant ainsi élagué toute théorie et toute description compliquée, nous n'aurions pas répondu au but que se propose la bibliothèque technologique. Si le lecteur curieux de connaître les moyens de production des oscillations électriques et les domaines qui utilisent leurs effets eut été en partie satisfait, celui qui désire pénétrer plus avant les dispositifs d'utilisation des ondes hertziennes eut été, par contre, trop déçu.

— C'est pourquoi nous avons cru devoir réunir dans un appendice toutes les questions que nous avons considérées comme susceptibles de satisfaire la légitime curiosité du technicien : descriptions détaillées des plus récents brevets, manières diverses d'envisager le fonctionnement des radioconducteurs, utilité et rôle des antennes en télégraphie sans fil, discussion des diverses solutions proposées au problème de la syntonisation, application des dispositifs de la télégraphie sans fil à la commande à distance, à la prévision des orages, etc.

Ainsi compris et tout imparfait qu'il soit, nous espérons que ce livre comblera une lacune, en groupant ensemble tous les renseignements relatifs aux applications pratiques des ondes électriques.

Nous n'avons pas cru devoir traiter les applications médicales des oscillations électriques. Elles relèvent plus du thérapeute que du physicien.

Nous tenons à remercier M. Blondin de tous les renseignements utiles qu'il nous a communiqués et d'avoir bien voulu mettre à notre disposition les plus récents brevets concernant la télégraphie sans fil.

La Rochelle, Août 1900.

LES APPLICATIONS
DES ONDES ÉLECTRIQUES

CHAPITRE PREMIER

PRODUCTION ET OBSERVATION DES ONDES ÉLECTRIQUES

Expériences de Hertz. — Ondes électriques. — Si l'on dispose à peu de distance l'un de l'autre deux conducteurs isolés, deux plaques A, B (fig. 1), armées de tiges munies de sphères *a*, *b*, et si l'on établit entre ces deux conducteurs une différence de potentiel électrique gra-

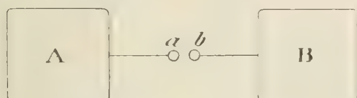


Fig. 1. — Excitateur d'ondes électriques.

duellement croissante, il arrive un moment où le condensateur formé par les deux conducteurs se décharge sur lui-même. On en est averti par la production d'une étincelle qui éclate entre les deux sphères de métal.

En choisissant convenablement les dimensions des conducteurs employés, la décharge électrique qui se produit ainsi entre ces deux conducteurs peut affecter un caractère tout particulier.

Au lieu de décroître d'une manière graduelle depuis la valeur qu'elle a atteint jusqu'à une valeur nulle (la

décharge étant alors complète), la différence de potentiel peut présenter des alternatives de décroissances et de croissances, et cela tant que dure la décharge, c'est-à-dire jusqu'à ce que la charge électrique communiquée aux conducteurs se soit totalement dissipée.

On dit alors que la *décharge* du condensateur est *oscillante*.

Les deux conducteurs qui forment le condensateur de capacité C constituent dans leur ensemble une certaine résistance électrique R. Le circuit formé par ces deux conducteurs possède un certain coefficient d'induction propre L. La théorie indique que la décharge sera oscillante si l'on a

$$R^2 < \frac{4L}{C}.$$

La durée d'une période est donnée par la formule

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{R^2}{4L^2}}}.$$

Si le rapport $\frac{R}{L}$ est suffisamment petit on peut négliger le second terme du radical par rapport au premier et la durée d'une période devient

$$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Hertz [1] qui a imaginé le dispositif précédent a montré qu'il suffit, pour entretenir d'une manière continue le condensateur dans l'état de *décharge oscillante* de relier les deux conducteurs qui le constituent aux deux pôles d'une bobine de Ruhmkorff en activité. L'appareil est

---

[1] H. Hertz. Recherches sur les ondulations électriques (*Archives de Genève*, 3e période, t. XXI, p. 286, 1889).

alors le siège d'oscillations électriques se propageant dans tout l'espace environnant; Hertz le nomme l'*excitateur des ondes électriques*.

Persuadé que l'excitateur est bien le siège d'oscillations électriques, Hertz a cherché à montrer la présence de ces nouvelles ondes, à démontrer la réalité de leur propagation.

A cet effet il prit comme appareil d'investigation un simple cerceau de métal (fig. 2) constituant un circuit conducteur ouvert en un point. On peut aisément faire varier la grandeur de l'interruption grâce à une vis micrométrique dont se trouve munie l'une des extrémités de la tige métallique qui forme le cerceau.

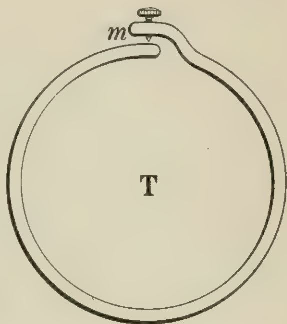


Fig. 2. — Résonateur de Hertz.

Si l'on dispose ce circuit qui constitue le *résonateur* de Hertz au voisinage de l'excitateur, on constate qu'il se produit une étincelle à la partie interrompue du cerceau métallique, au micromètre.

Cette étincelle dénote par sa présence la propagation d'une action électrique depuis l'excitateur qui la produit jusqu'au résonateur qui la décèle.

Par sa simplicité vraiment géniale le résonateur constitue sans nul doute l'invention la plus originale de toute l'œuvre expérimentale de Hertz. C'est pour avoir conçu ce cerceau de métal, comme moyen d'investigation du champ des ondes électriques, que Hertz occupe la première place parmi les expérimentateurs qui, continuant son œuvre, ont exploité le domaine qu'il leur a légué.

Ondes électriques stationnaires. — L'espace environnant un excitateur en activité, espace dans lequel un

résonateur est susceptible de fonctionner, constitue ce que l'on nomme le *champ hertzien* créé par cet excitateur.

Si l'on dispose à une certaine distance devant l'excitateur un écran métallique et que l'on éloigne graduellement de l'excitateur un résonateur dont le plan est maintenu parallèle au plan de l'écran on observe les phénomènes suivants : — A une certaine distance de l'excitateur une étincelle se manifeste à l'interruption du résonateur. En éloignant le résonateur de l'excitateur, les étincelles deviennent de plus en plus rares et bientôt cessent complètement. Si l'on continue à éloigner le résonateur de l'excitateur, quelques étincelles ne tardent pas à reparaître à son interruption, elles deviennent bientôt nombreuses et finissent par éclater d'une façon continue. Par un nouvel éloignement les étincelles disparaissent au micromètre du résonateur, pour reparaître à nouveau, et ainsi de suite, tant qu'on éloigne le résonateur de l'excitateur, dans la portion de l'espace comprise entre l'excitateur et l'écran métallique.

En résumé, le résonateur, éloigné par degré de l'excitateur, manifeste des alternatives de fonctionnement et d'extinction dans des régions fixes et bien déterminées.

On admet que le phénomène ainsi observé est dû à l'interférence des ondes électriques directement émises par l'excitateur et des ondes réfléchies sur l'écran métallique. Le résonateur, dans son déplacement, met en évidence les *ondes électriques stationnaires* déterminées entre l'excitateur et l'écran par cette interférence.

Lorsque les étincelles éclatent d'une façon continue au micromètre du résonateur, on dit que cet appareil se trouve placé dans une *section ventrale*.

Lorsque, par suite du déplacement, les étincelles cessent complètement au micromètre, on dit alors que le résonateur est arrivé dans une *section nodale*.

On constate aisément que la distance qui sépare une section ventrale de la section nodale suivante est constante, si bien que ces différentes sections ventrales et nodales s'étagent entre l'excitateur et l'écran métallique et partagent leur distance en une suite de segments égaux.

On nomme *longueur d'onde* le double de la distance qui sépare deux sections ventrales ou deux sections nodales consécutives.

Ondes électriques le long des fils. — Au lieu de laisser les ondes électriques émises par l'excitateur se propager librement dans tout l'espace environnant, on peut concentrer le champ hertzien à l'aide de deux longs fils de cuivre parallèles tendus à partir de l'excitateur.

A cet effet on dispose parallèlement aux plaques de l'excitateur et à quelques centimètres de ces plaques deux plateaux métalliques auxquels sont réunis par une de leurs extrémités les deux fils conducteurs *f*, *f*, qui doivent concentrer le champ (fig. 3).

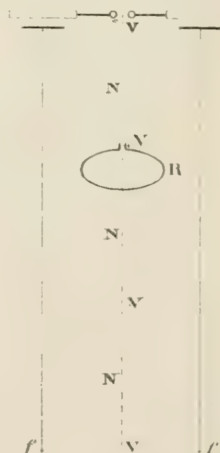


Fig. 3. — Ondes électriques le long des fils.

Dans ces conditions un résonateur R dont le plan est maintenu perpendiculaire à la direction des fils et qui est graduellement éloigné de l'excitateur présente les mêmes phénomènes que lors de son déplacement entre l'excitateur et le plan d'un écran métallique. On constate des alternatives de fonctionnement et d'extinction du micromètre dans des régions fixes séparées par un intervalle constant.

Comme dans le cas précédent le résonateur met en

évidence les ondes électriques stationnaires déterminées dans le champ hertzien par la réflexion des ondulations électriques à l'extrémité des deux fils conducteurs qui y sont tendus. Mais dans le cas actuel par suite de la concentration due à la présence des fils les phénomènes sont bien plus intenses que précédemment et en faisant usage de fils conducteurs suffisamment longs on peut les observer à des distances de l'excitateur de beaucoup plus grandes que lorsque l'on se contente de produire des ondes stationnaires au moyen d'un écran métallique.

Résonance multiple. — MM. Sarasin et de la Rive [1] qui ont répété les premiers les expériences de Hertz, en concentrant le champ à l'aide de deux fils parallèles, ont en outre montré que si, dans le même champ, on déplace plusieurs résonateurs de longueurs différentes, chaque résonateur partage la longueur totale des fils en un certain nombre de concamérations de longueur constante pour chacun des résonateurs, mais de longueur variable d'un résonateur à l'autre.

C'est ce phénomène qu'ils nomment phénomène de *résonance multiple* et dont ils donnent l'interprétation suivante : Un même excitateur de Hertz émet tout un cortège d'ondulations électriques de longueurs d'onde différentes et chaque résonateur, déplacé dans le champ de l'excitateur, ne renforce que les ondulations correspondant à sa période propre et par suite ne décèle que ces ondulations à l'exclusion de toutes les autres.

M. Poincaré [2] et M. Bjerkness [3] ont montré depuis,

---

(1) Sarasin et de la Rive. Sur la résonance multiple des ondulations électriques (*Archives de Genève*, 3e période, t. XXIII, p. 113, 1890).

(2) H. Poincaré (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, août 1890).

(3) V. Bjerkness. Ueber die Dampfung schneller elektrischer Schwingungen (*Wiedemann's Annalen*, t. XLIV, p. 74, 1891).

le premier, par des considérations théoriques, le second, au moyen de très soigneuses expériences, que ce fait de la résonance de plusieurs résonateurs de longueurs différentes dans le champ créé par un même excitateur peut s'expliquer par un effet d'amortissement. Toutefois il est à remarquer que conformément aux résultats de l'étude expérimentale de Nils Strindberg (1), reprise récemment par M. Décombe (2), on doit retrouver le phénomène de la résonance multiple tel que l'ont décrit MM. Sarasin et de la Rive, lorsqu'on emploie des résonateurs constitués par des tiges de métal de diamètre notable (supérieur à 2 mm).

Diverses formes d'excitateurs. — *Excitateurs de Hertz.* L'excitateur employé tout d'abord par Hertz était constitué par deux sphères de zinc de 30 cm de diamètre, munies chacune, dans le prolongement d'un rayon, d'une tige de métal terminée par une boule de laiton parfaitement poli de 3 cm de diamètre. La longueur de chacune des tiges pouvait varier de 50 cm à 75 cm si bien que la distance des centres des sphères (fig. 4) variait entre 1 m et 1,50 m.

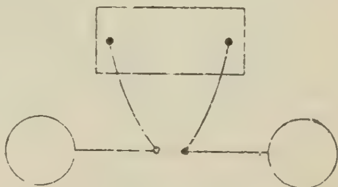


Fig. 4. — Excitateur de Hertz.

Hertz employa également des excitateurs à plaques carrées (fig. 1), en laiton, munies, sur l'un des côtés, d'une tige métallique terminée par une boule. Deux modèles de cet excitateur ont été utilisés par Hertz ; dans l'un d'eux les plaques mesuraient 40 cm de côté, la distance des

(1) Nils Strindberg. Sur la résonance multiple des oscillations électriques (*Archives de Genève*, 3e période, t. XXXII, p. 129, 1894).

(2) Décombe. (*Annales de Physique et Chimie*, t. XV, p. 156, 1889.)

centres des plaques était d'environ 1 m, dans l'autre les plaques avaient 20 cm de côté.

Enfin Hertz a employé un excitateur constitué simplement par deux cylindres de laiton de 13 cm de longueur et de 3 cm de diamètre dont les parties en regard étaient terminées par des sphères de 2 cm de rayon.

Perfectionnement de MM. Sarasin et de la Rive. — Avec ces différents excitateurs l'étincelle de décharge éclatait dans l'air entre les boules de laiton maintenues aussi parfaitement propres que possible. L'étincelle doit en effet éclater brusquement et dans un temps très court. Pour cela il faut que les deux conducteurs de l'excitateur soient à une distance convenable, que l'étincelle éclate entre deux boules, de préférence creuses, dont les surfaces soient bien polies. Si ces conditions ne sont pas remplies l'étincelle est mauvaise et l'excitateur fonctionne mal. On reconnaît que les conditions voulues sont réalisées à l'aspect des étincelles et au son qu'elles produisent. Les étincelles doivent être d'un éclat blanc éblouissant et produire un bruit sec comparable à celui d'une explosion. Lorsque l'étincelle éclate dans l'air, les

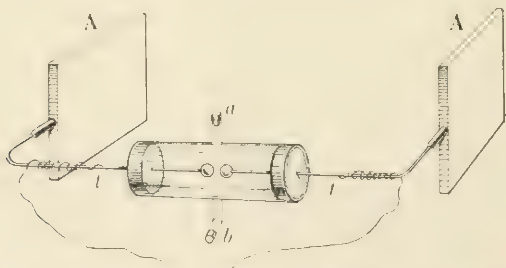


Fig. 5. — Perfectionnement de MM. Sarasin et de la Rive.

boules de décharge nécessitent un nettoyage fréquent. MM. Sarasin et de la Rive en faisant éclater l'étincelle dans l'huile de vaseline ou dans l'huile de pétrole ont

rendu l'excitateur bien plus puissant. Les nettoyages incessants ne sont plus nécessaires, les surfaces en regard ne s'oxydant plus, les étincelles gagnent donc en régularité. De plus, la présence de l'huile permet d'obtenir entre les boules pour une même distance un potentiel explosif plus grand que dans l'air. L'excitateur peut être disposé comme le représente la figure 5 ; les tubulures *a*, *b*, permettent de remplir d'huile et d'évacuer aisément le manchon de verre *m*.

Excitateur de M. Blondlot. L'excitateur de M. Blondlot [1] diffère peu de l'excitateur à plaques de Hertz. Les

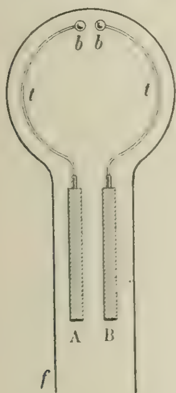


Fig. 6.
Excitateur de M. Blondlot. Mode électrodynamique de concentration.

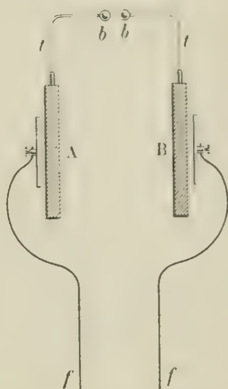


Fig. 7.
Mode électrostatique de concentration du champ.

deux plaques A, B, qui forment capacité sont parallèles au voisinage l'une de l'autre et les tiges *t*, *t* qui les réunissent aux boules *b*, *b* (fig. 6) affectent la forme de demi-circonférence. Ce qui est différent c'est le mode suivant lequel le champ hertzien concentré par deux fils parallèles est emprunté à l'excitateur.

---

[1] Blondlot. (*Journal de Physique*, 2e série, t. X, p. 549.)

Au lieu de joindre chacun des fils à des plateaux métalliques voisins des plaques A, B et qui leur sont parallèles, ce qui constitue le *mode* de concentration dénommé *électrostatique* (fig. 7), M. Blondlot réunit ensemble les deux fils. Ces fils forment une circonférence voisine des tiges circulaires *t*, *t* de l'excitateur (fig. 6) et qui n'en est séparée que par un tube de caoutchouc dans lequel les fils sont engaînés et qui les isolent de l'excitateur. Ce mode de concentration du champ est dit *mode électrodynamique*.

Excitateur de M. Lodge. — Une variante de l'excitateur à sphères de Hertz a été réalisée par M. Lodge qui supprime les tiges dont sont munies les sphères employées par Hertz. L'excitateur se réduit alors à deux sphères entre lesquelles éclate l'étincelle.

Excitateurs de M. Righi, de M. Lebedew, de M. Bose. — Les différents excitateurs qui viennent d'être décrits ont des dimensions telles que les longueurs d'onde des oscillations électriques qu'ils excitent sont de l'ordre de grandeur du mètre. (Le grand excitateur de Hertz produit des oscillations dont la longueur d'onde atteint 6 m ; le petit excitateur cylindrique fournit des oscillations 10 fois plus rapides, c'est-à-dire dont la longueur d'onde mesure 60 cm.)

Dans le but de répéter à l'aide des oscillations électriques la plupart des expériences de l'optique, les physiciens se sont ingéniés à constituer des excitateurs émettant des ondes de longueur de plus en plus réduite. Comme il est démontré que la vitesse de propagation des oscillations électriques dans l'air et le long des fils métalliques est égale à la vitesse de la lumière dans le vide, pour obtenir des ondes électriques permettant de répéter les expériences de l'optique, il faut faire en sorte que la période des oscillations fournies par les excitateurs se rapproche de la valeur admise pour la période des ondes lumineuses.

La formule de lord Kelvin indique pour la période T des oscillations électriques.

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

On doit donc chercher à constituer le condensateur électrique qui constitue un excitateur, de manière qu'il présente une capacité aussi faible que possible.

Dans ce but M. Righi (1) constitue l'excitateur par deux sphères de 4 cm de diamètre, baignant en partie dans l'huile afin de conserver aux oscillations produites une intensité suffisante. Ces sphères (fig. 8) sont excitées à l'aide de deux sphères plus petites *a*, *b* reliées à la source d'électricité qui entretient l'excitateur (machine statique ou bobine d'induction). Des trois étincelles qui éclatent entre les sphères *a*, A, B, *b*, celle située entre A et B doit seule présenter le caractère oscillatoire. A cet effet la distance entre A et B est de 1 mm seulement alors que la distance entre *a* et A, entre B et *b* est de 2 cm.

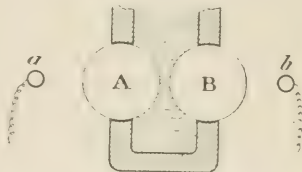


Fig. 8. — Excitateur de M. Righi.

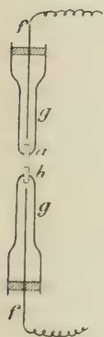


Fig. 9.
Excitateur de M. Lebedew.

A l'aide de cet excitateur M. Righi obtient des oscillations dont la longueur d'onde n'excède pas 10 cm. En faisant usage de sphères A et B de 0,8 cm de diamètre la longueur d'onde n'est que de 2,5 cm.

Enfin M. Lebedew d'une part, M. Bose d'autre part, sont arrivés à réaliser des excitateurs produisant des oscillations dont la longueur d'onde n'atteint pas plus de 6 mm.

---

(1) A. Righi. L'optique des oscillations électriques (*Archives de Genève*, 4e période, t. IV, p. 401, 1897).

L'excitateur de M. Lebedew (fig. 9) est formé de deux cylindres de platine *a*, *b*, de 1,3 mm de longueur et de 0,5 mm de diamètre soudés dans des tubes de verre *g*, *g*. Ces cylindres sont excités par deux fils *f*, *f* en communication avec les bornes d'une bobine d'induction par l'intermédiaire d'un condensateur. Cet excitateur est placé sur la ligne focale d'un petit miroir cylindrique de 6 mm de longueur focale. Le miroir et l'excitateur sont immergés dans du pétrole.

L'excitateur de M. Bose est un excitateur à trois sphères de platine A, B, C (fig. 10), dont la sphère centrale a 0,78 cm de diamètre et est isolée. Les deux sphères A et C communiquent avec la source d'électricité. Les étincelles éclatent dans l'air. Pour que les surfaces en regard des sphères ne s'altèrent pas, l'interrupteur de la bobine d'induction est commandé à la main. On ne produit pas ainsi une suite ininterrompue d'étincelles, mais une série d'intensité décroissante qui, sans user les sphères, produisent des oscillations qui, malgré leur faible intensité, agissent sur le résonateur que nous décrirons plus loin, grâce à la grande sensibilité de cet appareil.

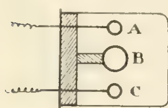


Fig. 10. — Excitateur de M. Bose.

Divers modes d'observation de la résonance électrique. — *Résonateur de Hertz.* — Le résonateur de Hertz est, ainsi qu'il a été dit plus haut, simplement constitué par un cerceau (fig. 2) ou par un rectangle de métal présentant une interruption en un point. L'une des extrémités de la tige qui forme le résonateur est arrondie et polie, l'autre extrémité porte une vis micrométrique dont la pointe peut venir buter contre l'extrémité arrondie. Une graduation pratiquée sur la tête de la vis permet d'apprécier l'intervalle micrométrique. La vis peut être manœuvrée à l'aide d'une clef d'ébonite *c* (fig. 11 et 12).

On peut disposer le micromètre de telle sorte que l'étincelle éclate normalement à la circonférence du résonateur (fig. 11), ou de manière à ce qu'elle éclate dans

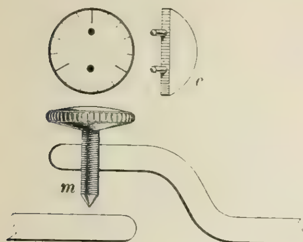


Fig. 11. — Micromètre normal.

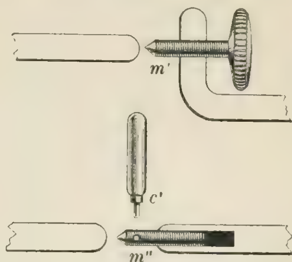


Fig. 12. — Micromètre tangent.

la direction tangente à la circonférence du résonateur (fig. 12). Pour atténuer la perturbation apportée par la vis micrométrique, on peut disposer la vis m'' dans l'axe même de la tige du résonateur. — On peut même supprimer complètement la vis, il suffit d'insérer les deux extrémités de la tige du résonateur, dont l'une est limée en pointe, en face l'une de l'autre à chacune des branches d'une pince en bois. En écartant les deux branches de la pince au moyen d'une vis (fig. 13), on peut faire varier l'intervalle micrométrique. Cette disposition, imaginée par M. Gutton, présente sur les micromètres précédents l'avantage de n'attacher au résonateur aucune vis, aucun conducteur.



Fig. 13. Micromètre de M. Gutton.

Résonateur de M. Blondlot. — Le résonateur employé par M. Blondlot est formé de deux plateaux métalliques parallèles réalisant un condensateur plan A,B dont les armatures sont réunies par un rectangle de fils conducteurs *a*, *b*, *c*, *d* (fig. 14). Le micromètre à étincelle est fixé sur le bord des deux plateaux.

Cette forme donnée au résonateur permet de calculer

facilement le coefficient de self-induction du circuit rectangulaire *a, b, c, d*, d'une part, et la capacité du conducteur plan A,B d'autre part. On peut négliger la self-induction des plateaux et la capacité du fil. Capacité et self-induction se trouvent ainsi localisées dans l'une des parties de l'appareil à l'exclusion de l'autre. En appliquant à ce résonateur la formule de lord Kelvin, M. Blondlot calcule avec une assez grande approximation la valeur de la période des oscillations qui l'excitent. Cet appareil est disposé entre les deux fils de concentration du champ hertzien qui contournent le rectangle du résonateur en demeurant parallèles à ses côtés.

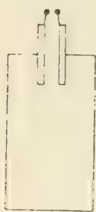


Fig. 14. Résonateur de M. Blondlot.

Emploi de l'électromètre. — Pour manifester la résonance électrique et déterminer la situation respective des sections nodales et ventrales d'un champ hertzien, on peut, au lieu d'observer les étincelles qui se produisent au micromètre, relier, comme l'a fait M. Bjerkness, les deux extrémités du résonateur à un électromètre à quadrants. Les pôles du micromètre sont alors suffisamment éloignés pour qu'il ne se produise pas d'étincelles.

L'électromètre employé est un électromètre à quadrants qui ne porte que deux paires de quadrants opposés, les deux autres paires ont été supprimées. L'aiguille de l'électromètre est isolée et chaque paire de quadrants est respectivement mise en communication avec l'une des extrémités du résonateur. L'angle d'écart de l'aiguille est minimum lorsque le résonateur est situé dans une section nodale, maximum lorsqu'il est dans une section ventrale.

Résonateur à coupure ; emploi du téléphone. — Si l'on pratique dans un résonateur filiforme de Hertz une coupure de quelques centimètres, indépendamment de celle offerte par le micromètre, le résonateur ainsi coupé (fig. 15) fonctionne avec la même facilité que s'il était

complet [1]. Au lieu d'observer les étincelles qui se produisent au micromètre d'un résonateur à coupure, on peut introduire dans la coupure le circuit d'une pile contenant un téléphone ; au moment où le résonateur vibre, l'étincelle qui se produit au micromètre ferme le circuit de la pile dans le téléphone et impressionne celui-ci. — On peut supprimer la pile auxiliaire et se contenter de fermer le circuit d'un résonateur coupé par un bon téléphone. Les oscillations électriques se chargent alors elles-mêmes d'entretenir le téléphone.

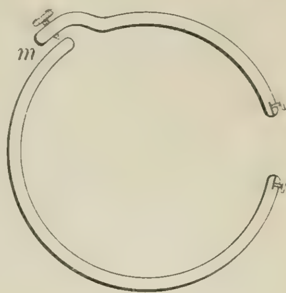


Fig. 15.
Résonateur à coupure.

Au lieu de faire appel au sens de la vue pour constater le passage successif du résonateur aux sections nodales et ventrales, on s'adresse donc ici à l'oreille et on manifeste à l'ouïe le passage du résonateur dans ces différentes sections, si bien que ce n'est plus une métaphore de dire qu'un résonateur de Hertz résonne ou qu'il reste muet, mais que c'est bien l'expression d'une réalité. Par ce moyen, en effet, on peut faire entendre à tout un auditoire les oscillations hertziennes.

Ce n'est pas, à proprement parler, la manifestation électrique des étincelles du résonateur qui actionne le téléphone, mais ce sont ces étincelles qui commandent l'entretien du téléphone par une pile auxiliaire, si bien que les interruptions successives du courant de la pile dans le téléphone modulent à l'oreille, sous forme de bruits interrompus, les oscillations électriques du milieu que les aspects de l'étincelle peignent aux yeux. Et si l'on

---

(1) A. Turpain. (*Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 4 avril 1895.)

s'astreint à regarder le micromètre du résonateur coupé en même temps qu'on écoute le téléphone, on peut dire que l'on voit en même temps qu'on l'entend la manifestation des oscillations hertziennes.

Ce mode d'investigation par l'ouïe constitue non seulement un moyen d'étude bien plus commode que celui par la vue, mais réalise également un mode bien plus délicat, bien plus susceptible par suite de donner aux mesures une grande précision. L'oreille, en effet, pour peu qu'elle soit éduquée, sait apprécier la gamme des intensités avec une distinction des nuances autrement délicate que n'arrive à le faire l'œil. Et alors qu'à la vue on ne saurait affirmer si une étincelle est plus lumineuse à un endroit qu'à un autre, le téléphone, par le bruit qu'il transmet à l'oreille, permet à celle-ci de trancher sûrement la question.

Une remarque au sujet du fonctionnement du téléphone.

Les oscillations électriques émises par l'excitateur ont une période extrêmement courte, de l'ordre du billionième de seconde. Le résonateur, qui vibre à l'unisson de l'excitateur, présente donc une période de cet ordre de grandeur. Il est évident qu'au micromètre du résonateur, il ne se produit pas un billion d'étincelles par seconde, mais un billion de variations de potentiel, et l'œil qui considère ces étincelles se rend bien compte de leur extrême rapidité, mais ne saisit toutefois dans le scintillement qu'il constate qu'un énorme groupe de ces oscillations ; chaque scintillement correspondra par exemple à un groupe de 10 millions d'oscillations.

De même le téléphone qui transmet à l'oreille une sorte de bruissement est actionné, pour chacune des vibrations sonores de sa plaque, par un énorme groupe d'oscillations, mais alors que l'œil cesse de pouvoir décomposer en impressions discontinues un phénomène lumineux

périodique dont la période excède 1/10 de seconde, l'oreille est susceptible de percevoir des sons qui peuvent atteindre 30 000 vibrations doubles par seconde ; il suffit donc que tous les 30 000e de seconde le micromètre livre passage au courant de la pile pour que le téléphone soit entretenu par elle.

Supposons que l'oscillateur émette N vibrations électriques par seconde : les pôles du micromètre vont éprouver N oscillations de potentiel par seconde. A la faveur d'une de ces oscillations, le courant de la pile commence à se fermer dans le téléphone.

Soit t le temps évalué en secondes que met la plaque du téléphone pour effectuer une vibration, il s'est produit pendant ce temps au micromètre n oscillations de potentiel.

$$n = Nt$$

Chaque vibration du téléphone correspond donc à un groupe de n oscillations électriques, et si

$$N = Kn,$$

le téléphone scinde les N oscillations électriques en K groupes de n oscillations chacun.

La traduction sonore des N oscillations électriques par seconde est un son de K vibrations par seconde.

Pour l'œil comme pour le téléphone, il s'établit un régime entre les rapides oscillations du potentiel du résonateur et les scintillements successifs de l'étincelle d'une part, les émissions successives du courant de la pile d'autre part, avec cet avantage en faveur du téléphone qu'il scinde en un bien plus grand nombre de parties que ne le fait l'œil les oscillations électriques qu'il a charge de déceler.

Des chiffres feront saisir cette différence :

$$N = 1 \text{ billion}.$$

Pour l'œil

$$K = 10.$$

Pour le téléphone

$$K = 1\,000.$$

L'œil ne partage le billion d'oscillations qu'en 10 groupes de 100 millions chacun ; l'oreille, armée du téléphone, le scinde en 1 000 groupes de 1 million chacun.

Emploi du galvanomètre. — Au lieu d'employer un téléphone, on peut encore fermer le circuit d'un résonateur à coupure par une pile reliée à un galvanomètre. On réalise ainsi un moyen commode d'observation de la résonance électrique. Il est nécessaire, dans ce cas, de faire choix d'un galvanomètre apériodique très sensible.

Emploi des tubes à gaz raréfié. — Des tubes à gaz raréfié (tubes de Geissler), munis ou non d'électrodes, disposés dans le champ hertzien s'illuminent. On peut utiliser ce phénomène pour déterminer les sections ventrales et nodales du champ, ainsi que l'a montré M. Zehnder [1], puis M. Lecher [2].

Détermination des concamérations par la méthode du pont. — Lorsque le champ est concentré par deux fils métalliques parallèles, on peut déterminer les sections nodales et ventrales sans déplacer le résonateur ou l'appareil (tube à gaz raréfié), qu'on emploie comme résonateur. On jette un pont conducteur mobile sur les deux fils et on déplace lentement ce pont depuis l'extrémité des fils la plus éloignée du résonateur jusqu'au voisinage du résonateur. On note les positions de ce pont qui font

---

(1) L. Zehnder. (*Wiedemann's Annalen*, t. XLVII, n° 9, p. 77.)

(2) E. Lecher. Eine Studie über elektrische Resonanzerscheinungen (*Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften*, 24 april 1890).

apparaître au micromètre du résonateur l'étincelle maxima ou l'étincelle minima. Ces positions correspondent aux ventres ou aux nœuds du champ. Cette méthode du pont a été indiquée par M. Blondlot. On démontre que la distance de deux positions successives du pont qui donnent au résonateur des étincelles maxima est égale à la distance de deux positions successives du résonateur déplacé dans le champ, pour lesquelles on obtient des étincelles maxima, c'est-à-dire à la demi-longueur d'onde des oscillations qui excitent le résonateur.

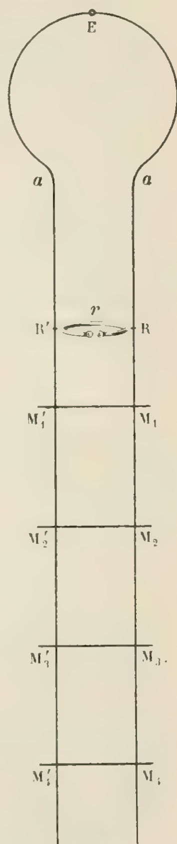


Fig. 16.
Méthode du pont.

Considérons en effet une perturbation partie de E : elle parcourt le chemin $ER = a$ (fig. 16), agit sur le résonateur, puis parcourt le chemin $RM_1M'_1R' = l$ et produit alors un deuxième effet sur le résonateur. Par raison de symétrie, l'action de cette perturbation à son passage en R sur le résonateur est identique à l'action qu'elle y produit à son passage en R'. Suivons cette perturbation : elle parcourt R'ER, agit une troisième fois sur le résonateur, etc... En définitive, la perturbation agit sur le résonateur après avoir parcouru des chemins exprimés par

a	$a + l$
$3a + l$	$3a + 2l$
$5a + 2l$	$5a + 3l$
. . . .	. . . .

Considérons, en second lieu, la perturbation qui se propage en sens contraire à partir de E ; elle ac-

tionne le résonateur après avoir parcouru les chemins

	a
$a + l$	$3a + l$
$3a + 2l$	$5a + 2l$
$5a + 3l$	$7a + 4l$
....	....

Si le résonateur reste fixe et que le pont se déplace, a demeure invariable alors que l varie. Les actions sur le résonateur s'ajouteront lorsqu'on aura

$$l = 2k \frac{\lambda}{2}.$$

Si $M_1M'_1$ et $M_2M'_2$ sont deux positions successives du pont pour lesquelles le résonateur donne des étincelles de longueur maxima au micromètre, on a :

$$RM_1 \ M_1'R' = 2k \frac{\lambda}{2},$$

$$RM_2 \ M_2'R' = 2\left(k + 1\right) \frac{\lambda}{2},$$

donc

$$M_1M_1' + M_2M_2' = \lambda.$$

et comme

$$M_1 \ M_1' = M_2M_2',$$

$$M_1M_2 = \frac{\lambda}{2}.$$

Ainsi donc, la distance qui sépare deux positions successives du pont produisant des étincelles de longueur maxima au résonateur est égale à la distance qui sépare deux ventres successifs que ce même résonateur décélerait par déplacement direct.

Tubes radio-conducteurs ou cohéreurs de M. Branly. — En 1890, M. Branly [1] signala la propriété suivante des

---

[1] A propos des tubes radio-conducteurs ou cohéreurs, nous engageons le lecteur à consulter le très intéressant mémoire de M. Branly, « Les Radio-conducteurs » (*Rapports présentés au Congrès international de Physique*. Paris, 1900, t. II, p. 325).

décharges oscillantes. Si l'on dispose dans le circuit d'une pile une colonne de grenaille ou de limaille métallique, la résistance de la limaille métallique est très élevée. Le courant qui peut traverser cette limaille est des plus faibles et se chiffre par quelques milliampères. Mais vient-on à produire au voisinage de la limaille des ondes électriques par la mise en activité d'un excitateur, on constate aussitôt que la résistance du tube contenant la colonne de limaille s'abaisse brusquement et peut tomber de la valeur de plusieurs mégohms à la valeur de quelques ohms. Le courant qui parcourt le circuit atteint par suite une valeur notable, valeur qu'il conserve alors même que l'excitateur, dont la mise en action a ainsi abaissé la résistance du tube, cesse de fonctionner. La résistance du tube à limaille conserve assez longtemps la faible valeur qu'elle a acquise sous l'influence des ondes électriques. Des vibrations élastiques communiquées au tube lui font peu à peu reprendre sa résistance primitive ; un choc brusque ramène instantanément la résistance de la limaille à sa valeur primitive.

M. Branly constitue les tubes à limaille, qu'il nomme *radio-conducteurs*, par un petit tube en ébonite, fermé par deux petits pistons métalliques servant à intercaler l'appareil dans le circuit d'une pile et entre lesquels est plus ou moins pressée la limaille métallique qui forme une couche de quelques millimètres.

Cohéreur de M. Lodge. — M. Lodge, qui a repris les expériences de M. Branly, s'est servi de cette propriété curieuse des tubes à limaille qu'il nomme *cohéreurs* pour constater la présence d'ondes électriques. A cet effet, il a intercalé dans le circuit un appareil susceptible d'indiquer immédiatement l'augmentation brusque d'intensité que déterminent les ondes. Il a utilisé le trembleur d'une sonnerie et a fait servir les chocs du marteau à ramener le tube à limaille dans son état primitif, à le *décohérer*.

M. Lodge ferme à la lampe le tube cohéreur après y avoir fait le vide.

Cohéreur de M. Popoff. — M. Popoff a également utilisé le tube à limaille de M. Branly. Deux bandes de platine *b*, *b*, fig. 17), collées à la suite l'une de



Fig. 17. — Cohéreur de M. Popoff.

l'autre, à une distance de quelques millimètres, sur la surface intérieure d'un tube de verre *t*, servent à amener le courant. Le tube, de 1 cm de diamètre environ, est fermé par deux bouchons *a*, *a*, et rempli de limaille de fer, de grosseur moyenne. Il est fixé horizontalement par une extrémité à un fragment de ressort de montre *r* très flexible. Sous l'action des ondes électriques, la résistance du tube tombe de 10 000 à 750 ohms.

Cohéreur de M. Marconi. — M. Marconi a donné au cohéreur une sensibilité de beaucoup supérieure à celle que possèdent les tubes de M. Branly, de M. Lodge ou de M. Popoff.

Le tube de M. Marconi, qui mesure de 3 à 4 mm de diamètre (fig. 18), contient deux pistons en argent

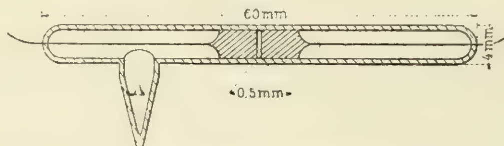


Fig. 18. — Cohéreur de M. Marconi.

séparés par un intervalle d'un demi-millimètre, intervalle rempli par de la limaille d'argent et de nickel dans la proportion de 96 parties de nickel pour 4 parties d'argent. On y ajoute quelques traces de mercure. Cette

limaille, de moyenne grosseur, mais pas trop fine, n'est pas serrée entre les armatures du cohéreur. On achève la construction du tube en y faisant le vide et le fermant à la lampe.

Cohéreur régénérable de M. Blondel (1). — M. Blondel, qui a fait du cohéreur une étude expérimentale systématique, a montré que le tube de M. Marconi devait sa grande sensibilité à la quantité extrêmement petite de limaille employée, au choix particulier de cette limaille et à des précautions minutieuses de fabrication.

Il est nécessaire d'employer des limailles de métaux légèrement oxydables. Les limailles des métaux inoxydables à l'air : argent, or, platine, laissent toujours passer le courant.

M. Tissot a employé avec succès de la limaille d'argent en ayant soin de la sulfurer préalablement.

M. Blondel a indiqué deux perfectionnements aux cohéreurs de M. Marconi. Le premier consiste à employer, au lieu de mélanges de limailles des alliages formés d'un métal oxydable et d'un métal inoxydable dont on peut doser la proportion de façon à réaliser pour l'alliage le degré d'oxydabilité le plus commode. Les alliages d'argent avec le nickel ou le cuivre donnent de bons résultats (monnaie de nickel suisse ou américaine, monnaie d'argent russe). En réduisant beaucoup la proportion du métal oxydable, on obtient des alliages qui ne s'oxydent qu'en les chauffant. On est alors maître de l'oxydation et on peut l'amener au degré voulu sans crainte de la voir varier sous l'action de l'air à froid.

Le second perfectionnement apporté par M. Blondel permet, tout en employant des tubes à air raréfié et fermés à la lampe, de régler la quantité de limaille intro-

(1) Blondel. Association française pour l'avancement des sciences (*Congrès de Nantes*, 1898).

duite entre les armatures du cohéreur, ainsi que la proportion de limaille oxydée. Les tubes de M. Blondel portent, soudé à angle droit et en leur milieu, un second tube formant réservoir de limaille L (fig. 19) et permet-

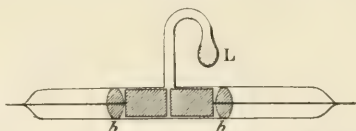


Fig. 19. — Cohéreur régénérable de M. Blondel.

tant de régénérer la limaille quand elle a été fatiguée par un usage prolongé. On ramène alors la limaille dans le réservoir, on la mélange avec la limaille mise en réserve, puis on la remet en place. Pour éviter la fuite des limailles fines entre les armatures, qui, vu leur nature (platine), n'épousent pas parfaitement la forme du tube, on flanque chaque armature d'un tampon d'amalgame de dentiste *b*, *b* qui, introduit à l'état pâteux, se moule sur le verre et se solidifie au bout de peu de temps.

Grâce à ces divers perfectionnements, tout en conservant et même en augmentant la sensibilité du cohéreur employé par M. Marconi, on rend possible le réglage de l'appareil et on en augmente considérablement la durée. De là le nom de *cohéreur régénérable* donné par M. Blondel à ce dispositif.

Cohéreur autodécohérable à charbon de M. Tommasina. — M. Thomas Tommasina [1] a construit un nouveau cohéreur à poudre de charbon. La poudre de charbon utilisée est celle qui est employée dans les microphones des stations suisses. Elle est contenue entre deux lames de mica, dans un petit trou cylindrique creusé dans une plaque d'ébonite. — Deux fils métalliques, de préférence en maillechort,

(1) Th. Tommasina. (*Archives de Genève*, 4e période, t. IX, 15 mai 1900. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXX, p. 904, 1900.)

traversent la plaque d'ébonite dans la direction de deux génératrices diamétralement opposées et constituent les deux pôles du cohéreur.

La plaque d'ébonite a la forme d'un rectangle de 15 mm sur 12 mm de côtés, emprunté à une feuille d'ébonite de 2,5 mm d'épaisseur. Une ouverture circulaire de 2 mm de diamètre est pratiquée dans la partie centrale. Les fils de maillechort de 0,2 mm de diamètre sont recouverts de soie, sauf la partie passant dans le trou, qui est dénudée et polie. Ils sont serrés en boucle parallèlement au plus grand côté du rectangle.

La poudre de charbon doit être bien desséchée.

D'après M. Tommasina, ce nouveau cohéreur jouit de la propriété précieuse que l'adhérence des grains de charbon disparaît immédiatement après l'action des ondes électriques, sans l'intervention d'aucune action mécanique. Ce cohéreur autodécohérable jouit d'une sensibilité égale à celle des meilleurs cohéreurs à limaille métallique.

Cohéreur à cohésion magnétique de M. Tissot. — Le cohéreur employé par M. Tissot est un cohéreur à limailles de métaux magnétiques (fer ou nickel). Les électrodes sont constituées soit par des métaux magnétiques, soit par des métaux non magnétiques (argent ou platine). Le vide est fait dans le tube cohéreur, et pour éviter l'oxydation des électrodes ou des limailles, on y enferme quelques fragments de carbure de calcium.

La modification apportée par M. Tissot pour augmenter la sensibilité du cohéreur consiste à le placer dans un champ magnétique dont les lignes de forces sont parallèles à l'axe du tube. Ce champ peut être produit soit par un aimant permanent, soit mieux par une bobine entourant le tube du cohéreur.

On constate qu'il est possible d'écarter notablement les électrodes du tube sans cesser d'obtenir un cohéreur

sensible. L'écart, qui varie dans le dispositif ordinaire de 0,5 mm à 1 mm, peut, avec l'élégant dispositif de M. Tissot, être amené à 6 mm et 8 mm. La limaille est tamisée de manière à passer dans un tamis de 80 à 100 mailles par pouce et à ne pas passer dans un tamis de 120 mailles par pouce. La quantité de limaille à introduire est très faible (environ le quart de l'espace libre).

La décohésion par le choc reste facile lorsque le champ n'est pas trop intense.

En supprimant le champ magnétique de cohésion, le tube est ramené à sa résistance primitive par une simple trépidation, si bien qu'en produisant le champ magnétique auxiliaire à l'aide d'un électro-aimant commandé par un relai qui, actionné, supprime le champ, on obtient un cohéreur très sensible dont le frappeur peut être supprimé.

Indicateur d'ondes de M. Righi [1]. — Si l'on place dans le circuit d'une pile un tube à gaz raréfié dont les deux électrodes sont formées de deux fils métalliques *a*, *b* distant de quelques dixièmes de millimètre l'un de l'autre (fig. 20), et si la force électromotrice de la pile est très peu inférieure à celle nécessaire pour le passage du courant, il suffit que des ondes électriques soient produites dans le voisinage de l'appareil pour qu'aussitôt le tube s'illumine et que le courant passe. Un galvanomètre placé dans le circuit de la pile est fortement dévié. Dès que l'excitateur cesse de produire des ondes, l'aiguille du galvanomètre revient au zéro. La sensibilité de cette sorte de cohéreur, que M. Righi dénomme *indicateur d'ondes*, est voisine de celles des cohéreurs précédemment décrits.

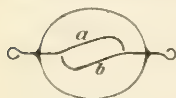


Fig. 20.
Indicateur d'ondes de M. Righi.

(1) Righi. (*Rendiconti della reale Academia dei Lincei*, vol. VI, fasc. 9, p. 245, 7 novembre 1897).

L'appareil reprend sa résistance primitive sans qu'il soit nécessaire de le heurter.

Détecteur d'ondes de M. Blondel. — M. Blondel [1] a utilisé pour déceler les ondes électriques un tube de Geissler dont les électrodes présentent à l'intérieur, de larges surfaces, très rapprochées, arrivant presqu'au contact. Ce tube est inséré ainsi qu'un téléphone dans le circuit d'une pile auxiliaire. Le courant de la pile doit être insuffisant à rompre, seul, la résistance du tube à vide, mais il se montre capable d'entretenir le téléphone si des ondes électriques viennent à être reçues par les électrodes du tube de Geissler.

D'après M. Blondel [2] ce dispositif, qu'il appelle *détecteur d'ondes*, peut être employé pour déceler des ondes à de faibles distances; il manque de sensibilité, comparé aux cohéreurs, pour de grandes distances. Il en est de même de l'indicateur d'ondes de M. Righi ci-dessus décrit.

Anticohéreurs de M. Neugschwender [3] et de M. Aschkinass [4]. — M. Neugschwender et M. Aschkinass ont fait connaître presque simultanément l'effet des ondes électriques sur les contacts humides.

On sépare par un trait de 2 à 3 mm de largeur la couche conductrice qui recouvre une glace argentée. Le miroir ainsi rayé est introduit, avec un galvanomètre, dans le circuit d'une pile auxiliaire de manière à ce que chacune des deux plages conductrices soit en relation avec un des pôles de la pile. — Dans ces conditions, si l'on

---

(1) Blondel. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 21 mai 1900.)

(2) *Congrès international d'Électricité*. Rapport de MM. Blondel et Ferrié sur la télégraphie sans fil. *Éclairage électrique*, t. XXIV, 29 septembre 1900.

(3) Neugschwender. (*Wiedemann's Annalen*, t. LXVIII, p. 92.)

(4) Aschkinass. (*Wiedemann's Annalen*, t. LXVII, p. 842, 1899.)

produit, par le souffle ou de toute autre manière, le dépôt d'une couche de rosée sur la portion rayée de la glace, on constate une déviation du galvanomètre. Cette déviation cesse et l'aiguille revient au zéro, si l'on produit une émission d'ondes électriques au voisinage de la glace. Dès que les ondes cessent d'être émises, le galvanomètre dévie à nouveau. — La résistance du miroir rayé qui est de 50 ohms environ, à l'état normal, monte à 80 ou 90 000 ohms sous l'influence des ondes.

Ce dispositif, à l'encontre des cohéreurs, laisse donc passer le courant de la pile auxiliaire tant qu'il n'est soumis à aucune action de la part des ondes électriques. Il cesse d'être conducteur dès qu'il est frappé par des ondes. Cette manière de se comporter, qui est exactement l'inverse de celle qu'on observe avec les cohéreurs, a fait donner à ce dispositif le nom d'*anticohéreur*.

On constate que les oscillations électriques se montrent seules capables d'actionner un anticohéreur. Ni les vibrations mécaniques, ni une élévation modérée de température n'ont d'influence sur un anti-cohéreur.

Résonateurs de M. Righi, de M. Lebedew, de M. Bose. — Répétition des phénomènes de l'optique. — Si les excitateurs d'ondes électriques construits par M. Righi, par M. Lebedew, par M. Bose, fournissent des oscillations de longueur d'onde de plus en plus réduite, condition recherchée par leurs inventeurs, qui désiraient répéter avec les ondes électriques les principaux phénomènes de l'optique, ces appareils produisent des effets très peu intenses. Il est donc nécessaire de leur associer des résonateurs d'une très grande sensibilité.

Comme résonateur, M. Righi emploie une mince couche d'argent déposée à la surface d'une lame de verre. Cette couche a la forme d'un rectangle allongé ; la bande conductrice ainsi constituée est partagée en son milieu par un trait de diamant n'excédant pas quelques millièmes

de millimètre. C'est à travers ce trait que l'étincelle éclate. Les étincelles sont observées à l'aide d'un microscope. L'excitateur à deux sphères de Righi étant disposé suivant la ligne focale d'un miroir en forme de cylindre parabolique, la bande argentée formant résonateur est aussi disposée suivant la ligne focale d'un second miroir de même forme. M. Righi répète ainsi, en diminuant considérablement les dimensions des appareils et en exagérant la sensibilité du résonateur, un des dispositifs imaginés par Hertz, celui des miroirs conjugués.

Le résonateur que M. Lebedew associe à l'excitateur que nous avons décrit est formé par deux petits cylindres (3 mm de longueur) disposés bout à bout et, de même que l'excitateur, sur la ligne focale d'un miroir cylindrique. L'excitation de ce résonateur est mise en évidence de la manière suivante. Aux extrémités en regard du résonateur sont soudées deux petites boucles formées l'une d'un fil de fer, l'autre d'un fil de constantan de 0,01 mm de diamètre. Ces boucles forment ainsi un élément thermoélectrique à travers les fils duquel les conducteurs cylindriques formant résonateur se déchargent à chaque oscillation. L'échauffement qui en résulte est manifesté par un courant qui actionne un galvanomètre très sensible.

Le résonateur employé par M. Bose est un cohéreur construit d'une manière particulière. On forme de petites spirales à l'aide d'un mince fil d'acier. Ces spirales sont logées à côté l'une de l'autre dans une rainure pratiquée dans un bloc d'ébonite et en contact ainsi les unes avec les autres. Deux pièces de fonte, l'une fixe, l'autre mobile, limitent la longueur de la rainure. La pièce de bronze mobile permet d'exercer une pression sur la spirale qui la touche, pression qui se transmet uniformément d'une spirale à l'autre. Les pièces de bronze servent également à introduire le cohéreur de M. Bose dans le circuit d'une pile contenant un galvanomètre. L'appareil est enfermé

dans une boîte métallique ne présentant qu'une ouverture linéaire et étroite sur laquelle on concentre les ondes. Quand les ondes atteignent cette ouverture la résistance du cohéreur diminue et le galvanomètre indique cette diminution par une déviation.

A l'aide de ces divers dispositifs on a pu répéter avec les oscillations électriques non seulement les expériences de réflexion, de réfraction, de polarisation, déjà réalisées par Hertz, mais encore montrer que ces ondes sont susceptibles d'interférer, de présenter le phénomène de la double réfraction, etc.

CHAPITRE II

ENTRETIEN D'UN EXCITATEUR EN ACTIVITÉ. SOURCES D'ÉLECTRICITÉ. — MACHINES ÉLECTRIQUES. BOBINES D'INDUCTION ET INTERRUPTEURS.

On peut entretenir en activité un excitateur d'ondes électriques soit à l'aide d'une machine électrique, soit à l'aide d'une bobine d'induction.

L'emploi d'une machine électrique nécessite un moteur qui entretienne la rotation des plateaux de la machine. Par contre, il dispense de l'usage d'une batterie de piles ou d'accumulateurs que le fonctionnement des bobines d'induction réclame. Lorsqu'on ne dispose pas du courant d'un secteur de distribution, il peut être avantageux d'employer une machine électrique.

On consacrera ce chapitre à la description des récents perfectionnements apportés aux machines électriques et aux bobines d'induction. L'emploi de ces appareils se généralisant de jour en jour on s'est préoccupé d'en augmenter la puissance et d'en rendre l'usage de plus en plus commode.

MACHINES ÉLECTRIQUES

Les machines électriques les plus employées actuellement dans les laboratoires sont les machines à influence ; pour leur puissance de plus en plus grande et pour leur

volume, à égalité d'effet, plus réduit que celui des machines à frottement elles sont préférées à ces dernières.

Nous rappellerons la disposition générale de la machine de Holtz, puis nous décrirons les machines plus récentes de M. Wimshurst, de M. Voss, et les perfectionnements que M. Bonetti et M. Pidgeon ont fait subir à la machine de M. Wimshurst.

Machine de Holtz. — Cette machine (fig. 21) consiste en un plateau de verre animé d'un mouvement de rotation

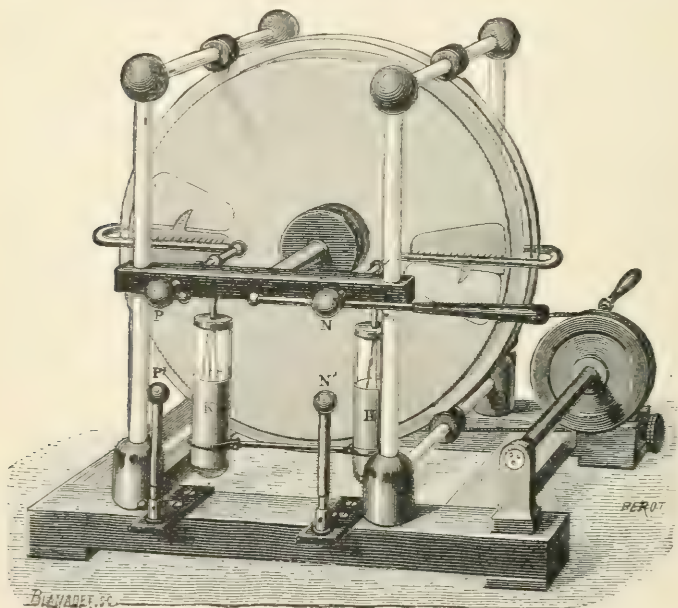


Fig. 21. — Machine de Holtz.

autour d'un axe perpendiculaire à son plan. Des peignes sont disposés aux extrémités d'un même diamètre et communiquent avec deux tiges mobiles pouvant se rapprocher qui constituent les pôles de la machine.

Vis-à-vis des peignes et de l'autre côté du plateau mobile se trouvent deux inducteurs constitués par des feuilles de papier munies de pointes dirigées vers les parties du disque de verre mobile qui se rapprochent d'elles. Ces inducteurs sont supportés par un plateau de verre fixe muni d'échancrures sur le bord desquelles sont fixées les feuilles de papier qui les constituent.

L'une de ces bandes de papier reçoit une électrisation négative qui lui est communiquée par le contact d'une lame d'ébonite préalablement frottée avec une étoffe de laine. Cette électrisation négative détermine l'électrisation positive de l'une des faces du plateau puis l'électrisation positive de la deuxième bande de papier. L'influence des deux inducteurs sur les peignes qui se trouvent situés en face détermine l'électrisation en sens contraire de chaque peigne. Le jeu de la machine a pour effet d'augmenter l'électrisation des tiges en communication avec les peignes. Si l'on sépare ces deux tiges qui forment les pôles de la machines et qui, pendant qu'on amorce la machine, ont dû être amenées au contact, des étincelles éclatent entre les deux pôles.

Si la machine est ainsi disposée, l'électrisation des deux conducteurs ne peut dépasser une certaine limite. Dès que ces conducteurs sont séparés leur influence réciproque diminue et le jeu de la machine est surtout entretenu par l'influence directe des armatures sur les peignes. Si la déperdition des armatures de papier est assez forte, il arrive alors que la machine cesse de fonctionner. Pour combattre cet inconvénient on ajoute à la machine un second conducteur diamétral muni de peignes et non interrompu qu'on dispose incliné de 30° environ sur le diamètre des peignes principaux.

Ce conducteur maintient l'électrisation contraire des deux moitiés du plateau mobile pendant que la machine fonctionne.

Les étincelles fournies par une machine de Holtz ainsi constituée sont assez grêles. On obtient des étincelles fortes et nourries en munissant chaque conducteur polaire de condensateurs formés par deux bouteilles de Leyde dont les armatures internes sont respectivement mise en relation avec chacun des conducteurs et dont les armatures externes communiquent entre elles.

On augmente la puissance de l'appareil en le constituant par deux plateaux mobiles, entre lesquels se trouvent alors disposés deux plateaux fixes supportant chacun les inducteurs des plateaux mobiles. On réalise ainsi deux machines placées côte à côte, mues par le même axe et dont les effets s'ajoutent.

Machine de M. Wimshurst. — La machine de Holtz présente l'inconvénient d'obliger à un amorcage préalable des inducteurs de papier. Si les conditions extérieures sont défavorables, quand l'atmosphère est humide, la machine se désamorce assez facilement, et la mise en marche nécessite un chauffage préalable de la machine.

La machine à influence que M. Wimshurst a imaginé joint à la qualité déjà réalisée par la machine de Holtz de fournir un grand débit, celle de ne pas nécessiter d'amorçage préalable. Cette machine est auto-excitatrice, elle peut fonctionner par tous les temps et ne présente pas l'inconvénient de s'inverser ou de se désamorcer pendant la marche.

Elle se compose essentiellement de deux plateaux tournant en sens inverse l'un de l'autre et portant un certain nombre de secteurs métalliques formés de papier d'étain. Sur ces secteurs frottent deux paires de balais portés à l'extrémité de conducteurs diamétraux dirigés perpendiculairement l'un sur l'autre. Ces conducteurs

communiquent entre eux et avec le sol. Suivant un diamètre horizontal sont disposées deux paires de peignes entre lesquels passent les plateaux et qui communiquent avec les deux pôles de la machine. Ces pôles sont mis en communication avec les armatures intérieures de deux bouteilles de Leyde dont les armatures extérieures sont reliées entre elles.

Nous empruntons la description détaillée suivante des divers organes de la machine et de sa construction à l'ouvrage de M. Gray (*Les machines électriques à influence*, traduction de M. G. Pellissier, 1892) dont les indications permettent de construire à peu de frais une semblable machine.

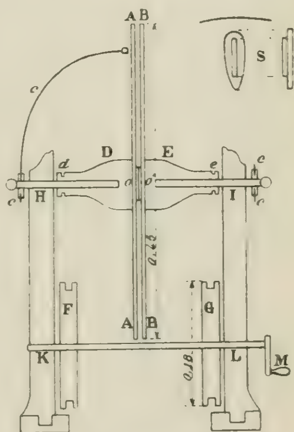


Fig. 22. — Coupe de la Machine de M. Wimshurst.

« La coupe de la machine est représentée par la figure 22. Le bâti se compose d'un cadre rectangulaire en acajou de 0,45 m sur 0,50 m. Les poulies F, G fixées à un axe KL sont supportées par les montants KH, LI. Elles permettent à l'aide de courroies s'engageant sur les gorges *d*, *e* des manchons D, E de faire tourner ces manchons et les plateaux qu'ils supportent en sens contraire l'un de l'autre. La disposition indiquée sur la figure permet de ne pas percer le centre des plateaux ; ceux-ci sont en verre à vitre ordinaire, bien uniforme d'épaisseur et le plus blanc possible ; ils ont 45 cm de diamètre et sont soigneusement vernis à la gomme laque sur les deux côtés. Pour fixer les plateaux sur les manchons on colle exactement au centre de chaque plateau une rondelle de fort papier

d'emballage du même diamètre que le manchon [1].

« On laisse sécher à la lumière du soleil pendant une heure ou deux, puis on colle les manchons sur le papier.

« Les manchons sont percés à leur extrémité la plus étroite, exactement à leur centre, d'un trou rond qui va presque jusqu'à l'autre bout ; dans ce trou on introduit à frottement dur un tube de cuivre poli dont le diamètre intérieur correspond exactement au diamètre extérieur de l'axe en acier.

« Pour que cette disposition donne de bons résultats il faut que les trous H I soient parfaitement en ligne droite avec les axes dans le prolongement l'un de l'autre ; ces derniers doivent être maintenus par des vis qui traversent le bois et dont les pointes les pressent fortement.

« Les conducteurs diamétraux sont placés sur le prolongement extérieur des tiges d'acier qu'on termine, pour le coup d'œil, par des boules en cuivre.

« Les secteurs ont la forme représentée en S ; il est bon de placer en leur milieu un renflement sur lequel frottent les balais, pour éviter la métallisation des plateaux. On les colle avec le vernis à la gomme laque.

« Pour que les disques de verre ne viennent pas frotter l'un contre l'autre, on colle au centre de leur face intérieure des rondelles O, O' en ébonite, de 1 mm. d'épaisseur environ. »

---

[1] On emploie pour cela la composition suivante :

Farine	2 cuillerées
Eau	100 grammes
Bichromate de potassium	7 —

La farine et l'eau sont d'abord mélangées et le mélange chauffé jusqu'à l'ébullition. On le verse alors en tournant sur le bichromate qu'on a réduit en poudre.

Cette composition doit être conservée dans l'obscurité.

Au lieu de construire la machine de M. Wimshurst avec des plateaux de verre on peut se servir de plateaux d'ébonite. Cette matière se déformant avec le temps et sa surface subissant des modifications chimiques qui la rendent conductrice, il est préférable d'employer des plateaux de verre. Par contre les plateaux de verre d'un certain diamètre sont fragiles et les machines qui en sont pourvues ne peuvent être animées d'une grande vitesse de rotation, vitesse qu'il est nécessaire de réaliser lorsqu'on veut produire un grand débit. Dans ce cas les machines à plateaux d'ébonite doivent être préférées.

M. Ducretet a construit divers modèles de machines de M. Wimhurst qui fournissent une longueur d'étincelles égale environ à la longueur du rayon des plateaux.

Une machine de 8 plateaux de 70 cm de diamètre montés sur le même axe et portant chacun 16 secteurs, donne pour chaque tour de la manivelle six étincelles de 20 cm de longueur ; on peut avec des condensateurs convenables obtenir des étincelles de 25 et 30 cm.

Une machine de douze plateaux peut donner des étincelles de 35 cm.

Dans ces grands modèles les conducteurs diamétraux ou porte-balais sont en deux parties et fixés moitié en bas, moitié en haut de la machine sur des planchettes comme l'indique la figure 23.

Machine de Voss. — Voss a apporté un perfectionnement notable à la machine de Holtz en la rendant capable de s'amorcer elle-même.

On peut caractériser la machine de Voss en disant qu'elle est constituée par la réunion d'une machine de Holtz et d'une machine de Wimshurst.

Les deux inducteurs de papier de la machine de Holtz sont électrisés à l'aide d'une disposition qui leur fait jouer le rôle des deux pôles d'une machine de Wimshurst,

c'est-à-dire que la dissymétrie électrique qui existe entre ces deux conducteurs est accrue par une disposition

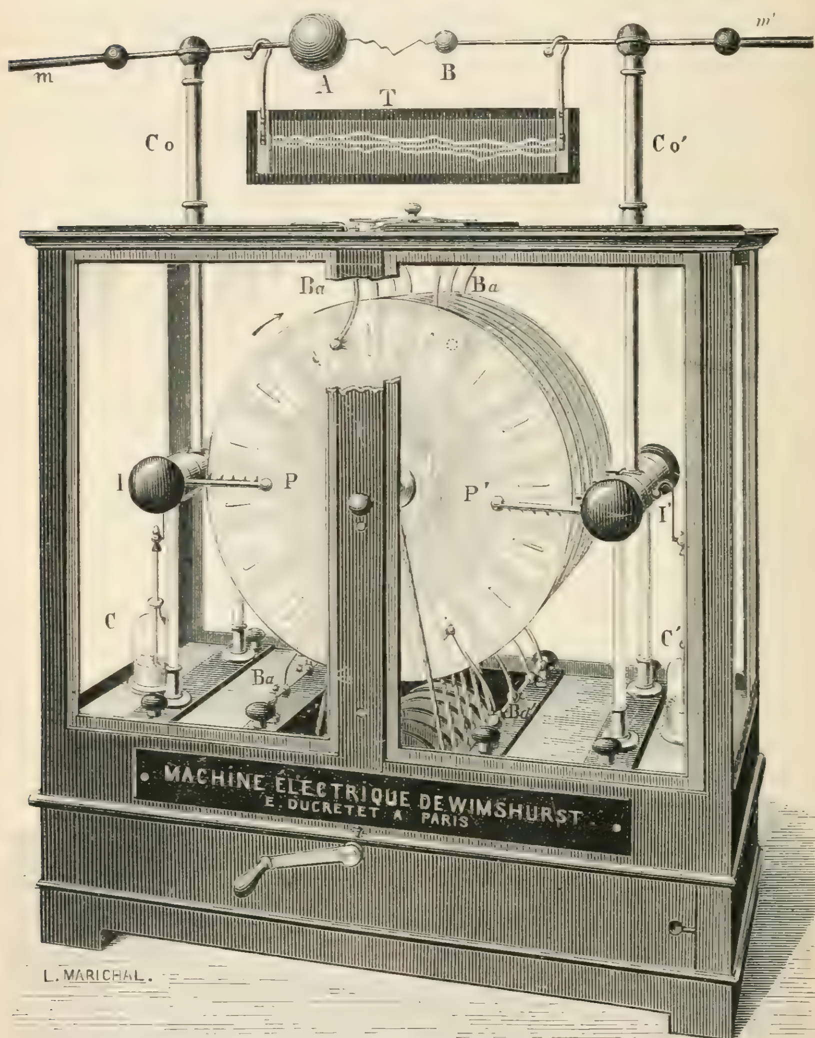


Fig. 23. — Machine de M. Wimshurst à douze plateaux.

identique à celle qui permet d'accroître cette divergence dans la machine de Wimshurst. Des balais métalliques (fig. 24) placés aux extrémités d'un diamètre conducteur frottent contre une pastille métallique qui

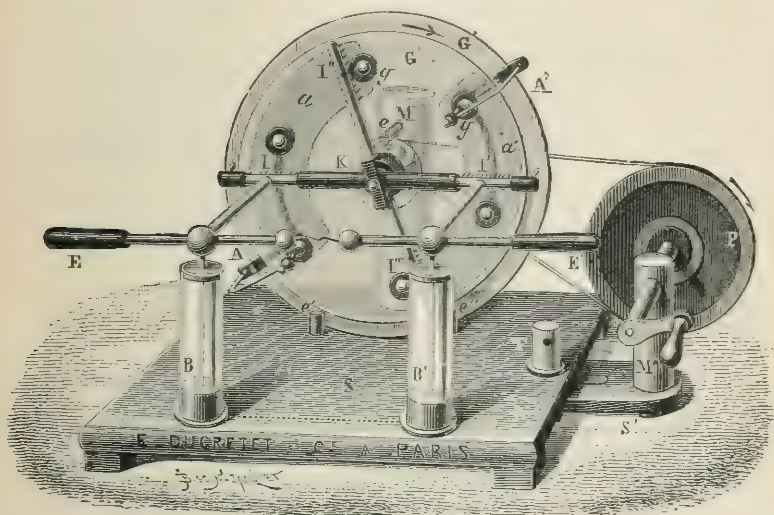


Fig. 24. — Machine de Voss.

joue le rôle des bandes d'étain de la machine de Wimshurst ; cette pastille communique alors son électrisation aux bandes de papier.

Machine de M. Bonetti. — La machine de M. Bonetti [1] est une modification de celle de M. Wimshurst. Le perfectionnement consiste à supprimer les secteurs métalliques et à adjoindre deux nouveaux balais frotteurs. Dans ces conditions le débit se trouve considérablement augmenté, dans le rapport de 3 à 1 environ.

---

(1) Bonetti. (*Société internationale des Électriciens*, 7 février 1894.)

Par contre il est nécessaire d'amorcer la machine de M. Bonetti. Pour cela il suffit de placer le doigt en un point quelconque vers la circonférence de l'un des plateaux extérieurs. Pour renverser la polarité il suffit de placer le doigt au même endroit sur le plateau opposé.

Machine de M. W.-R. Pidgeon. — M. Pidgeon [1] s'est proposé de rendre la capacité de chaque secteur de la machine de M. Wimshurst aussi grande que possible au moment de la charge et aussi petite que possible au moment de la décharge de manière que la quantité d'électricité déplacée par chaque secteur fût aussi grande que possible.

Dans la machine de M. Pidgeon les secteurs sont à surface, nombreux et isolés les uns des autres de façon à empêcher toute grande perte d'électricité d'un secteur à l'autre.

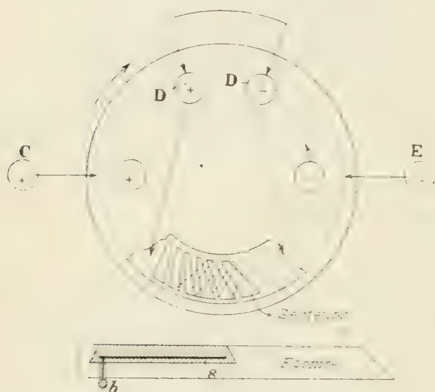


Fig. 25. — Machine de M. W.-R. Pidgeon.

Afin de réaliser ces desiderata les disques de la machine sont en ébonite de 1,6 cm d'épaisseur avec un retrait en profondeur de 1 cm sur 13,7 cm ainsi que l'indique la figure 25. Il y a sur chaque disque 32 secteurs en laiton mince portant de courtes tiges auxquelles sont vissées de petites boules de laiton qui servent de collecteurs. Les secteurs *s* occupent le fond du retrait, les tiges traversent

---

[1] PIDGEON. (*Philosophical Magazine*, février 1894.)

l'ébonite et les boules *b* sont vissées par derrière. Le retrait est rempli à chaud d'un mélange à parties égales de paraffine et de résine, égalisé au tour après refroidissement. Les secteurs se trouvent ainsi entièrement noyés dans l'isolant; la seule partie par où la charge puisse passer d'un secteur à l'autre, est la boule de laiton.

Afin de diminuer cette perte possible les secteurs font un certain angle avec le rayon du disque de façon que le secteur d'un disque dépasse graduellement celui de l'autre disque et avec un mouvement angulaire quatre fois moins rapide que si les secteurs étaient disposés radialement.

Pendant qu'un secteur est en entier dans un champ d'induction, le suivant y est au trois quarts, le troisième à moitié et le suivant au quart, de façon que la différence de potentiel entre les boules voisines est réduite au quart de la valeur qu'elle aurait si les secteurs étaient disposés radialement. Cet arrangement angulaire des secteurs nécessite un déplacement correspondant des balais pour que le contact ait lieu au moment convenable.

Pour accroître la capacité de chaque secteur au moment où il reçoit sa charge, deux inducteurs fixes sont placés vis-à-vis des disques aux points où les secteurs sont mis en communication avec la terre. Ces inducteurs sont formés de feuilles d'étain noyées dans la cire et supportées par une lame d'ébonite. La charge de chacun lui est communiquée par une pointe traversant un tube d'ébonite et placée vis-à-vis des boules d'un des plateaux en un point où le potentiel est de signe et de valeur convenables. Chaque secteur au moment où il communique avec le sol est ainsi placé entre deux inducteurs pareillement chargés, par suite sa capacité se trouve augmentée et il est susceptible de recevoir une bien plus grande charge d'électricité que si les inducteurs fixes n'existaient pas.

La présence de ces inducteurs fixes à un effet très

notable sur le débit de la machine. C'est ainsi que, toutes choses égales d'ailleurs, une même bouteille de Leyde chargée avec la machine munie de ses inducteurs fixes donne 54 étincelles, alors qu'elle n'en donne plus que 19 si la machine est privée de ses inducteurs. Le débit se trouve donc triplé par l'emploi des inducteurs.

BOBINES D'INDUCTION

Sans nous arrêter à la description de la bobine de Ruhmkorff que l'on trouvera dans tous les traités de Physique, nous nous bornerons à indiquer les divers perfectionnements apportés à cet appareil tant dans le but de le rendre plus puissant que dans celui d'en rendre la construction moins coûteuse.

Bobine d'induction de M. A. Apps. — Dans les bobines de Ruhmkorff ordinaires, le cylindre isolant qui sépare les enroulements primaire et secondaire ainsi que les disques séparant les divers tronçons de l'enroulement secondaire dans les bobines cloisonnées se trouvent soumis à des efforts mécaniques considérables de la part de ces enroulements quand les fils se dilatent ou se contractent sous l'influence des variations de température. La résistance d'isolement des diélectriques se trouvant considérablement diminuée par la traction et la compression, il peut donc résulter de ce mode de construction des bobines, une diminution importante de l'isolation des circuits. De plus ce mode de construction ne permet pas de remplacer le cylindre ou un disque isolant détérioré sans dérouler presque entièremement la bobine.

M. A. Apps s'est proposé de remédier à ces deux inconvénients. Le circuit primaire A (fig. 26) est enroulé sur une monture cylindrique dans laquelle se trouve maintenu, par deux disques latéraux et un bouton central, un fais-

ceau C de tiges de fer. Le circuit secondaire B est enroulé sur une monture cylindrique F, très résistante, supportant sans déformation les efforts mécaniques résultant des dilatations et contractions du circuit secondaire. Cette monture est fixée dans deux anneaux soutenus par les supports G. Deux viroles I servent à maintenir l'enroulement secondaire dans une position fixe par rapport à la monture. A l'intérieur de cette monture se trouve le cylindre E assurant l'isolement des circuits primaire et secondaire ; il est préservé des efforts mécaniques par

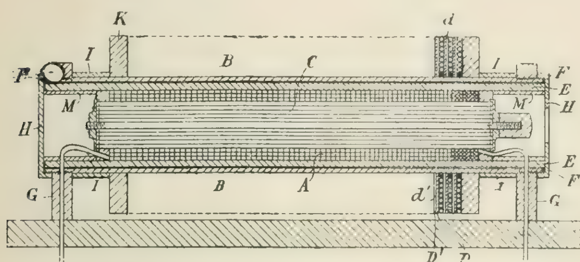


Fig. 26. — Bobine d'induction de M. A. Apps.

la monture. L'enroulement primaire est maintenu dans une position fixe à l'intérieur de F au moyen de deux petits tubes M et de deux bouchons à vis H.

Les cloisons isolantes séparant les divers tronçons du circuit secondaire de la bobine qui est cloisonnée sont soustraites aux efforts mécaniques d'une manière analogue. De chaque côté de ces cloisons et séparées de celles-ci par des ressorts ou des cales en substance élastique, se trouvent d'autres rondelles qui supportent seules les efforts.

Pour pouvoir facilement remplacer les cloisons, M. Apps les forme de deux anneaux D, D' munis d'échancrures *d*, *d'* (fig. 27) ; ces anneaux sont placés de manière que l'échancrure de l'un corresponde à la partie pleine de l'autre.

L'enroulement primaire et le cylindre isolant E peuvent être également retirés avec facilité ; il suffit de dévisser les bouchons H, de tirer les extrémités du fil hors des canaux des supports G et de faire glisser la bobine A et le cylindre isolant. On peut d'ailleurs fendre le cylindre

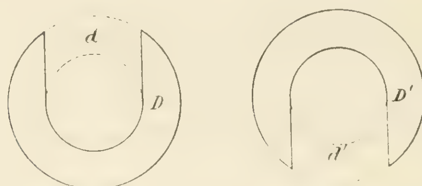


Fig. 27. — Cloisons de la bobine d'induction de M. A. Apps.

longitudinalement de façon à permettre de le retirer sans toucher aux extrémités du fil primaire qui passent dans la fente du cylindre ; mais alors il faut, pour assurer l'isolement, employer deux cylindres semblables, et, après les avoir insérés, les faire tourner l'un par rapport à l'autre de façon que les deux fentes ne se trouvent plus en regard.

M. Apps a construit ainsi un modèle de bobine qui donne des étincelles de 105 cm de longueur et dont l'induit contient 450 kilomètres de fil conducteur.

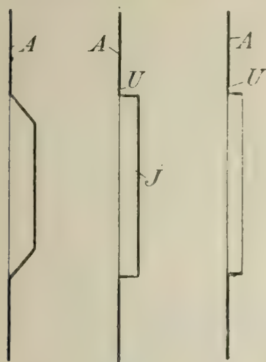
Système de cloisonnement du circuit secondaire de M. A. Davis. — Le système de cloisonnement du circuit induit que revendique M. A. Davis [1] est applicable aux bobines de Ruhmkorff ainsi qu'aux transformateurs à haut potentiel.

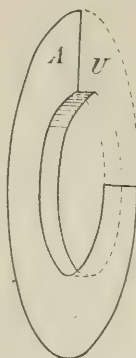
Les figures 28 à 35 représentent le mode de construction des bobines élémentaires dont l'ensemble constitue le circuit induit.

---

(1) A. Davis. *Brevet anglais, n° 8391, du 9 avril 1898, accepté le 25 février 1899.*

Au moyen d'un coin en acier porté à une température suffisamment élevée on déforme un disque d'ébonite de





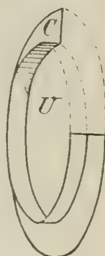


Fig. 28. Fig. 29. Fig. 30.
Cloisonnement de M. A. Davis.

Fig. 31. Fig. 32.
Cloison de M. A. Davis.

manière à lui donner la section représentée figure 28. Un second coin lui donne la forme indiquée figure 29. Un

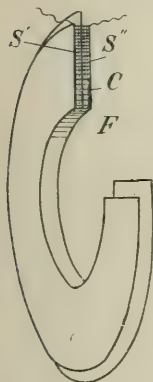


Fig. 33.
Montage d'une bobine élémentaire.

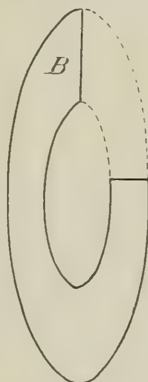


Fig. 34.
Cloison intermédiaire.



Fig. 35.
Cloison obtenue d'une seule pièce.

emporte-pièce détache ensuite (fig. 30) la partie centrale J. On obtient ainsi la cloison isolante A (fig. 31). — De la

même manière on prépare des cloisons de diamètre extérieur plus faible (fig. 32) mais dont l'ouverture centrale a un diamètre suffisant pour que la cloison C puisse s'emboîter sur A comme le représente la figure 33. Une cloison B (fig. 34) est interposée, dans le montage, entre A et C. — Pour effectuer le montage on glisse la cloison C sur le cylindre isolant qui sépare la bobine primaire du circuit secondaire, on applique contre cette cloison C la bobine S′ (fig. 33) dont le fil enroulé en sens inverse de S″

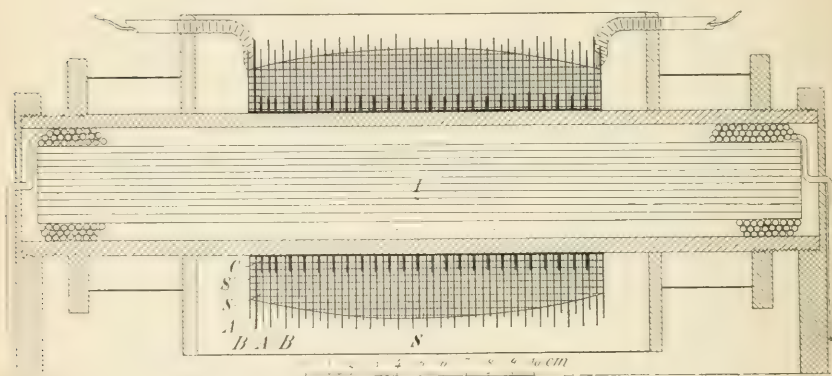


Fig. 36. — Bobine d'induction de M. A. Davis.

est soudé à ce dernier en F, puis enfin la cloison isolante A. — On peut d'ailleurs construire l'enveloppe isolante de chaque couple de bobines élémentaires d'une seule pièce comme le représente la figure 35, mais la construction est alors un peu plus délicate car les bobines élémentaires ne peuvent être enroulées à l'avance ; elles doivent être enroulées sur l'enveloppe, et pendant que l'on procède à l'enroulement de la première, S″, on réserve la place de l'autre bobine au moyen d'un mandrin que l'on enlève pour effectuer, en sens inverse l'enroulement S′.

La figure 36 donne la coupe d'une bobine d'induction

construite suivant le système de M. A. Davis. On remarquera que le diamètre des bobines plates élémentaires va en diminuant depuis le milieu jusqu'aux extrémités.

Bobine d'induction de M. Elihu Thomson. — M. Elihu Thomson [1] a imaginé un type de bobine d'induction qui peut être alimentée par le courant à 110 ou 220 volts que distribuent les stations centrales, sans qu'on soit obligé de placer en série avec le primaire une résistance, souvent assez élevée. La présence de cette

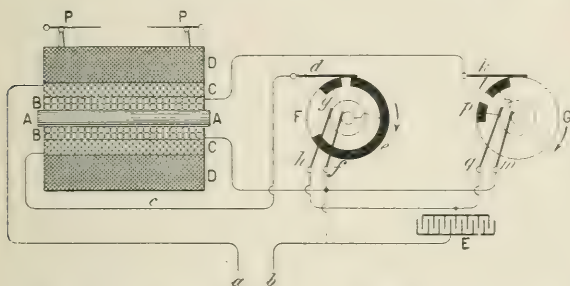


Fig. 37. — Bobine d'induction de M. Elihu Thomson.

résistance qui a pour effet de diminuer l'intensité du courant occasionne une perte notable d'énergie.

La bobine d'induction qui peut ainsi être directement branchée sur un réseau de distribution, possède trois enroulements. Une première bobine B (fig. 37) en gros fil joue le rôle de la bobine primaire des appareils ordinaires. Une seconde bobine C à fil plus fin sépare ce premier enroulement du dernier D qui est constitué à la manière des secondaires des bobines usuelles par un fil très fin et très long.

Ces enroulements sont connectés de la manière sui-

---

(1) Elihu Thomson. (*The Electrical Engineer* (New-York). t. XXIV, p. 77, 29 juillet 1897.)

vante avec les balais de deux commutateurs tournants qui sont montés sur un même axe. Afin de permettre une lecture plus facile, la figure représente ces deux commutateurs placés côte à côte.

L'une des extrémités de la bobine C est reliée à la borne *a* de la distribution d'électricité ; l'autre, par l'intermédiaire du fil *c*, au balai *d* frottant sur le premier commutateur tournant. Ce commutateur F porte deux bagues sur lesquelles frottent les deux balais *h* et *f* ; sa périphérie est munie de deux secteurs métalliques *g* et *e* reliés respectivement aux deux bagues. Dans la position du commutateur, indiquée sur la figure, le courant suit le chemin *a* C *c d e f b* ; en continuant à tourner, il interrompt le courant dans la bobine C et un courant induit de faible force électromotrice, mais de grande intensité, prend naissance dans la bobine à gros fil B dont les extrémités, reliées aux balais *k* et *m* du second commutateur G sont alors mises en court-circuit par le mouvement même de ce commutateur. Ce courant ne tarde pas à être rompu et il en résulte des courants induits de grande force électromotrice dans la bobine secondaire D. Pour diminuer les étincelles de rupture des courants et rendre cette rupture plus rapide, on emploie un condensateur E dont une armature est reliée d'une manière permanente à la borne *b* du réseau de distribution et dont l'autre armature se trouve mise en communication aux moments opportuns avec les bobines C ou B au moyen des balais *h* et *q* des commutateurs tournants.

Si cette disposition permet d'utiliser sans pertes énormes le courant distribué par les stations centrales, elle augmente, dans une certaine mesure, le coût de construction tant par suite de l'augmentation de poids des fils employés (trois enroulements au lieu de deux) qu'à cause de la main d'œuvre nécessaire pour ces trois enroulements.

Transformateur à haute tension de MM. Wydts-de Rochefort (1). — Non seulement les bobines d'induction ordinaires présentent, ainsi que les types modifiés que nous venons de décrire, l'inconvénient d'un coût élevé, mais le rendement atteint est assez faible (20 p. 100 environ des watts fournis). MM. Wydts et O. de Rochefort-Lucay ont construit un transformateur à haute tension, de bien meilleur rendement et qui joint à l'avantage de n'employer qu'une quantité assez restreinte de fil fin pour la construction de l'induit, celui d'utiliser un isolant dont l'état physique ne varie pas sensiblement par l'usage.

Comme le font remarquer MM. Wydts et de Rochefort, aux hautes tensions qui se produisent dans les bobines d'induction, les isolants solides sont facilement traversés par des effluves qui modifiant l'isolant deviennent avec le temps de plus en plus importants. Quant aux isolants liquides ils doivent également être rejetés, les courants qui se produisent dans le liquide entre les pôles extrêmes, leur enlevant en grande partie leur efficacité. Aussi les constructeurs ont fait choix d'un isolant pateux (dissolution de paraffine dans du pétrole chaud) qui offre un état physique convenable. Un semblable isolant est lentement décomposé par les actions électriques qui se produisent dans sa masse et il se dépose du carbone pulvérulent. Grâce à la disposition donnée à leur appareil, MM. Wydts et de Rochefort ont évité le dépôt du carbone.

L'inducteur est composé comme dans la bobine de Ruhmkorff d'un noyau de fer doux d (fig. 38) autour duquel s'enroule une double couche de gros fil de cuivre e, e' qui aboutit aux deux bornes a et a' servant

---

(1) Wydts et de Rochefort. (*Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, novembre 1897.)

à établir le courant primaire. Un tube isolant *f* entoure le faisceau inducteur.

L'induit est composé d'une seule bobine *g* contenant 600 grammes de fil fin de cuivre de 0,16 mm de diamètre. Cette bobine est placée dans la région médiane de l'inducteur ; elle repose sur deux tubes de verre *h* soutenus par un bloc de bois. Au-dessus, un bouchon de bois *i* muni de deux tasseaux, repose sur la bobine induite au moyen de deux tubes de verre *h*, *h*.

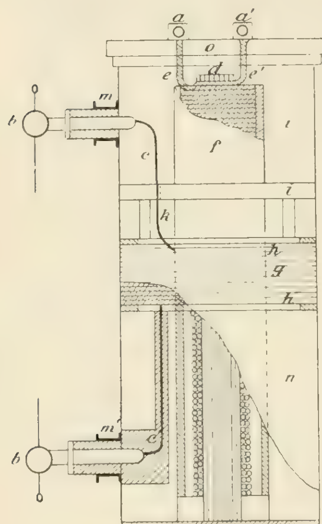


Fig. 38.
Transformateur à haute tension de MM. Wydts et de Rochefort.

Au lieu d'une seule bobine induite on peut en employer deux placées côte à côte parallèlement et connectées en tension.

Ces bobines enroulées suivant le procédé ordinaire sont ensuite immergées 24 heures dans une dissolution chaude de paraffine dans le pétrole. Après refroidissement dans le bain elles sont mises en place.

Les deux extrémités de l'induit sont reliées aux deux boules *b*, *b'* placées dans les bouchons des deux tubulures *m* et *m'* du vase de verre dans lequel le tout est placé verticalement.

Le transformateur ainsi construit (une seule bobine induite) donne de 20 à 22 cm d'étincelles avec 6 volts et 3 ampères, soit 20 watts environ. L'induit de la bobine de Ruhmkorff donnant la même longueur d'étincelles, serait composé de 50 à 60 galettes ou bobines plates accouplées

en tension et séparées par des cloisons solides isolantes. Le poids du fil de l'induit serait de 5 à 6 kgr. Le nombre de watts employé, 120 environ.

Un transformateur plus puissant donne 50 cm d'étincelle avec 12 volts et 6 ampères.

Transformateur unipolaire [1]. — Les transformateurs à un seul enroulement et à deux ou plusieurs enroulements montés en quantité présentent une propriété particulière : entre le sol et le pôle du circuit secondaire correspondant au point de départ de l'enroulement le plus voisin du circuit primaire, on obtient une étincelle environ dix fois plus courte que celle que l'on obtient entre le sol et l'autre pôle du circuit secondaire. MM. Wydts et de Rochefort donnent au premier pôle du secondaire le nom de *pôle de petite tension* et au second pôle le nom de *pôle de haute tension*. En reliant le pôle de petite tension à la terre, on constate que la tension au pôle de haute tension augmente, et l'étincelle qui jaillit entre ces deux pôles paraît gagner en intensité. Le transformateur dont le pôle de petite tension est mis en relation avec le sol est dit *unipolaire*.

Transformateur de M. Klingelfuss [2]. — Une des causes du faible rendement des bobines de Ruhmkorff est due à la forme de l'armature de fer doux sur laquelle s'enroule la bobine inductrice. Les extrémités de cette armature restent assez éloignées l'une de l'autre (de toute la longueur de la bobine). Il y a avantage à les rapprocher le plus possible. Le noyau de fer du transformateur à haute tension construit par M. Klingelfuss a la forme d'un fer à cheval (fig. 39) et peut être complètement fermé par une armature A qui prend place entre les deux branches

---

(1) WYDYS et DE ROCHEFORT. *Société française de Physique*, 6 mai 1898.

(2) H. VEILLON. *Archives de Genève*, octobre 1898.

a, *a*. Au lieu d'une traverse faite d'un seul morceau, les branches *a*, *a*, peuvent être réunies par une armature A_1A_1 fendue verticalement en son milieu et présentant entre ses deux parties un intervalle de quelques millimètres. Le noyau entier et les traverses sont formés de lamelles de fer doux séparées par du papier. Deux paires de bobines primaire p, p' et secondaire s, s' sont disposées sur les deux branches verticales du noyau, les secondaires entourant les pri-

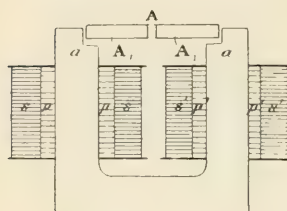


Fig. 39. — Coupe du transformateur de M. Klingelfuss.

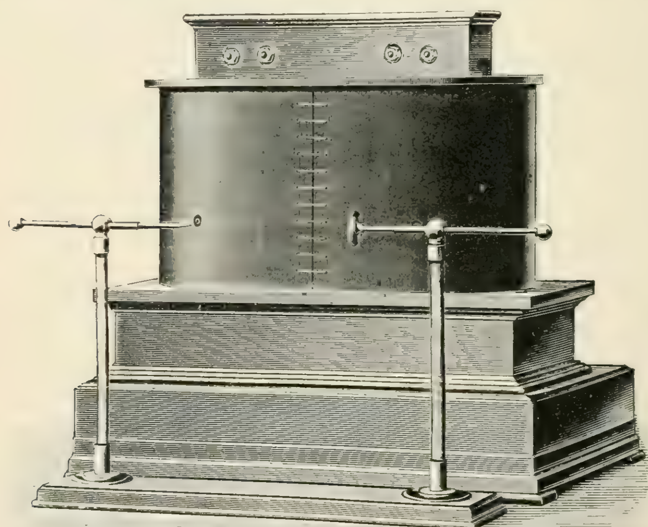


Fig. 40. — Transformateur de M. Klingelfuss.

maires. En dehors de la forme du fer doux, ce qui distingue l'appareil de M. Klingelfuss (fig. 40) des bobines ordinaires, c'est l'enroulement du fil secondaire

qui, par un procédé de fabrication dont l'inventeur garde le secret, est combiné de manière à écarter les spires les unes des autres en raison de leur différence de potentiel.

Les deux paires de bobines peuvent être utilisées en les disposant en série ou en les reliant en quantité.

Le nombre des spires de l'inducteur et de l'induit est de beaucoup inférieur au nombre de spires que présente

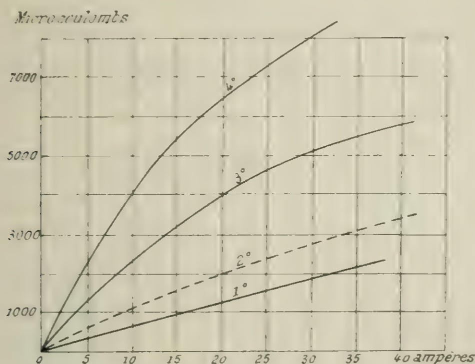


Fig. 41. — Courbes résumant l'étude comparative d'un transformateur Klingelfuss et d'une bobine Ruhmkorff.

une bobine Ruhmkorff pouvant fournir la même longueur d'étincelles.

Alors que le primaire d'une bobine construite par M. Carpentier et mesurant 0,62 m de longueur sur 0,22 m de diamètre contient 322 spires, le primaire de l'appareil de M. Klingelfuss a 112 spires seulement. Au lieu de 153 000 spires induites, il n'y a que 18 000 spires induites. Dans cet appareil le fil induit a 0,2 mm de diamètre au lieu de 0,16 mm. Les sections sont donc dans le rapport de 10 à 6. La résistance du circuit induit est de 8 000 ohms au lieu de 50 000 ohms qu'elle présente dans la bobine de Ruhmkorff.

Les quatre courbes de la figure 41 permettent de com-

parer les quantités d'électricité induites par un courant variant de 5 à 45 ampères : 1° dans une bobine de Ruhmkorff ; 2° dans le transformateur Klingelfuss dont les deux primaires sont reliés en quantité et qui n'est pas muni de l'armature A ; 3° dans le même appareil muni de l'armature A ; 4° enfin dans ce transformateur muni de son armature mobile et dont les primaires sont reliés en série.

On voit par ces courbes, qui résultent d'une étude comparative faite par M. Veillon, que la quantité d'électricité induite est environ trois fois plus grande lorsque le transformateur est muni de son armature mobile A que lorsqu'il en est démuni. Elle est six fois plus grande dans le transformateur muni de l'armature que celle induite dans la bobine construite par M. Carpentier.

Quant à la tension en circuit ouvert, elle est à peu près la même avec les deux appareils. La longueur des étincelles atteint 42 à 43 cm. Mais les étincelles fournies par le transformateur Klingelfuss ont à longueur égale une auréole beaucoup plus grande que celles de la bobine de Ruhmkorff.

A 25 centimètres on sépare encore par le souffle l'auréole qui s'écarte sous forme de véritables flammes, chose que l'on ne réalise plus guère avec la bobine de Ruhmkorff au delà de 7 à 8 centimètres.

Interrupteurs

On utilise aujourd'hui deux genres différents d'interrupteurs, l'interrupteur de Foucault, dont on trouvera la description dans tous les traités de Physique et l'interrupteur genre Wehnelt.

L'interrupteur de Foucault que l'emploi des puissantes bobines d'induction nécessite, présente l'inconvénient d'être un peu lent. Les perfectionnements que l'on a fait

subir à cet appareil ont eu principalement pour but de le rendre plus rapide.

Les interrupteurs du genre Wehnelt joignent à l'avantage d'être rapides celui de ne pas nécessiter, comme l'interrupteur de Foucault, de fréquents nettoyages. D'autre part on ne peut régler à volonté la *fréquence* (nombre d'interruptions à la seconde) des interrupteurs du genre Wehnelt alors qu'il est aisé d'effectuer ce réglage avec les interrupteurs du genre Foucault. Aussi avant de décrire les diverses formes des interrupteurs de Wehnelt décrirons-nous les perfectionnements apportés à l'interrupteur de Foucault.

Interrupteurs du genre Foucault

Nous rangerons dans ce genre non seulement les interrupteurs qui utilisent le mouvement alternatif d'une tige oscillante, que ce mouvement soit obtenu par un trembleur, avec ou sans l'aide d'un électro-aimant, ou qu'il soit produit à l'aide d'un moteur rotatif, mais encore tous les interrupteurs qui exigent la mise en mouvement d'un dispositif mécanique avec ou sans production d'un jet de mercure.

a. *Interrupteurs à trembleurs.*

Interrupteur de MM. Wydts et de Rochefort (1). — Cet interrupteur présente les dispositions générales de l'interrupteur de Foucault.

Un électro-aimant communique un mouvement de trembleur à une tige qui plonge dans un godet de mercure. Les interruptions du courant dans le circuit comprenant l'électro-aimant sont obtenus à l'aide de deux contacts

(1) Wydts et de Rochefort. (*Bulletin de la Société des ingénieurs civils*, décembre 1898.)

de platine que le mouvement même de la tige amènent à se toucher puis à s'écarter l'un de l'autre (fig. 42).

Le perfectionnement apporté à l'interrupteur de Fou

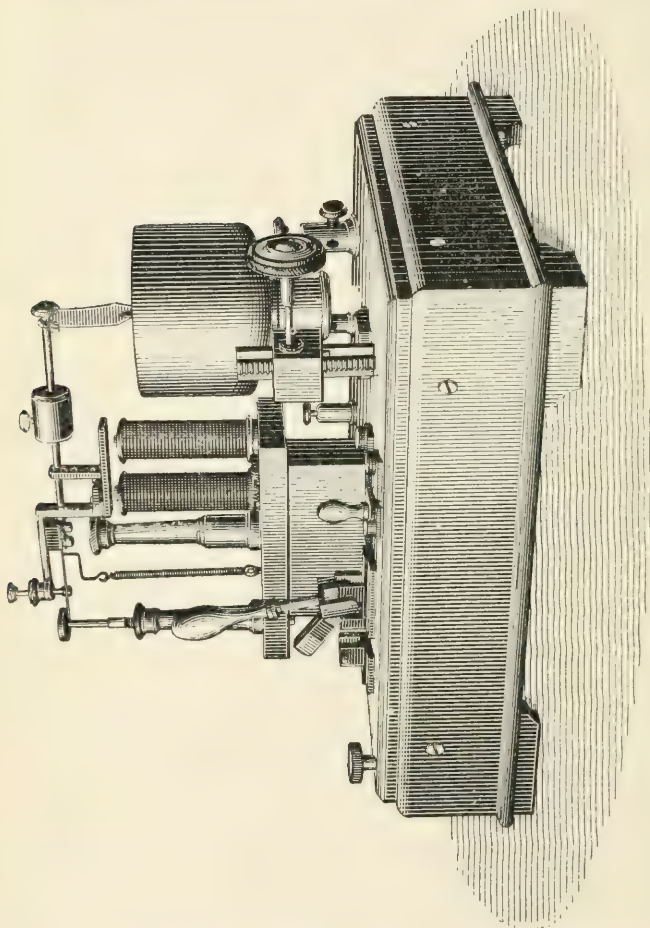


Fig. 42. — Interrupteur à trembleur de MM. Wydts et de Rochefort.

cault réside dans la liaison existant entre la tige verticale qui plonge dans le mercure et la tige horizontale portant l'armature de fer doux par l'attraction de laquelle l'électro-aimant communique un mouvement de va et vient au

système des deux tiges. Au lieu d'être invariablement fixées l'une à l'autre comme dans l'interrupteur de Foucault, ces deux tiges sont reliées à l'aide d'un ressort très flexible formé de minces feuilles de clinquant.

La tige plongeant dans le mercure est de plus légèrement aplatie. Grâce à cette liaison, le mouvement de la tige dans le mercure est un mouvement vertical, et la tige est guidée par le liquide lui-même, ce qui empêche les projections.

Cet interrupteur permet d'obtenir des interruptions très rapides, comparables à celles que donne un diapason, alors que la tige interruptrice effectue à chaque allée et venue une course dépassant 1, 5 cm.

On peut faire varier l'amplitude des vibrations en agissant sur un bouton à vis solidaire d'un des contacts en platine servant à l'interruption.

Pour faire varier la durée de la vibration et par suite la fréquence de l'interrupteur, on déplace un poids sur une tige ronde fixée au-dessus de l'armature. En enlevant cette masse, les vibrations deviennent extrêmement rapides, elles atteignent les nombres de 100 à 150 à la seconde.

L'interrupteur ne dépense pour sa marche, d'après MM. Wydts et de Rochefort que 1 watt 8 (0, 3 ampère et 6 volts).

Interrupteurs de M. C. Margot [1]. — M. C. Margot a imaginé un dispositif de l'interrupteur de Foucault qui en rend la construction des plus faciles.

Une hélice d'un nombre restreint de spires d'un gros fil de cuivre [2] est placée à l'intérieur d'un flacon à large

---

[1] C. Margot. (*Archives de Genève*, 4e période, t. III, p. 554, 15 juin 1897.)

[2] Les spires au nombre de 15 ont 24 mm de diamètre et sont formées d'un fil de 1,5 mm de diamètre. Elles sont séparées par un intervalle de 1 mm.

goulot contenant une couche de mercure recouvert d'une couche d'eau. L'une des extrémités de l'hélice (fig. 43) est fixée au bouchon qui ferme complètement le flacon. L'autre extrémité redressée sur 6 à 8 cm vient plonger verticalement dans le mercure. Une tige de métal *t* traverse le bouchon et vient amener le courant au mercure, de là à la spire par laquelle le courant sort de l'interrupteur pour parcourir le primaire de la bobine d'induction.

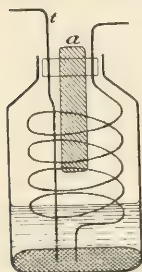


Fig. 43. — Interrupteur de M. Margot. Premier dispositif.

Par suite du passage du courant dans les spires, il se produit une attraction énergique des spires, l'hélice se contracte, l'interruption se produit. L'élasticité du métal ramenant l'hélice à sa forme primitive, le courant traverse de nouveau le circuit primaire et ainsi de suite.

On amplifie l'action attractive des spires de l'hélice en disposant à son intérieur un barreau de fer doux *a* fixé au bouchon du flacon.

Les oscillations de la spirale ont une amplitude dépassant 2 cm pour des courants de 15 à 20 ampères. La vitesse de l'oscillation dépend du diamètre du fil et du nombre des spires.

A l'aide d'une pince ou d'un écrou immobilisant un certain nombre de spires on peut modifier à volonté la rapidité des oscillations.

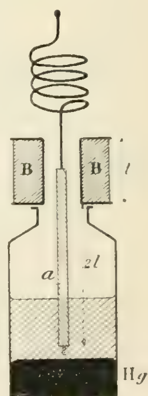


Fig. 44. — Interrupteur de M. Margot. Second dispositif.

Un second dispositif d'interrupteur (fig. 44) donne une rapidité plus grande encore ; sa construction est un peu moins simple. Le fonctionnement est inverse : la spirale de cuivre B est

fixe, la tige de fer doux *a* se meut à son intérieur.

Pour donner plus de puissance à l'appareil la spirale est formée par une bobine de gros fil de cuivre isolé B de 2 à 3 mm de diamètre.

La tige de fer, soutenue par un ressort antagoniste, a une de ses extrémités à la hauteur du centre de la bobine, l'autre extrémité dépasse la partie inférieure de la bobine de deux fois la longueur de celle-ci ; cette extrémité porte une pointe en cuivre ou en platine au moyen de laquelle se fait le contact avec le mercure.

Interrupteur électromagnétique de M. P. Villard [1]. — Le mouvement de cet interrupteur est produit par l'ac-

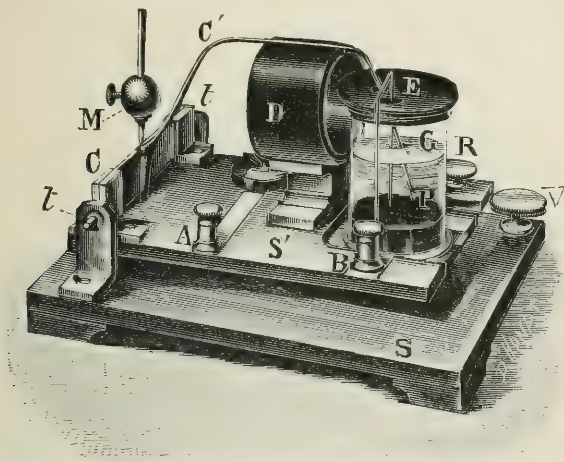


Fig. 45. — Interrupteur électromagnétique de M. P. Villard.

tion d'un aimant permanent sur le courant à interrompre.

Une tige en cuivre C' (fig. 45) est fixée à une lame élastique C formant ressort de torsion et sous l'action de laquelle elle peut vibrer. Cette tige porte une pointe de nickel P qui

---

(1) P. Villard. *Société française de Physique*, 4 novembre 1898.)

plonge à chaque vibration dans le mercure d'un godet G et produit ainsi les interruptions périodiques du courant.

Un aimant permanent D est orienté de manière à ce que le champ magnétique qu'il produit tende à soulever la tige dès que le contact avec le mercure établit le courant.

Il s'ensuit qu'à chaque vibration la tige mobile reçoit une impulsion qui entretient son mouvement avec une amplitude suffisante.

On peut d'ailleurs faire varier la fréquence des interruptions à l'aide d'une masse additionnelle M convenablement disposée.

Ce modèle d'interrupteur est destiné à donner 20 interruptions environ par seconde. L'aimant et la tige

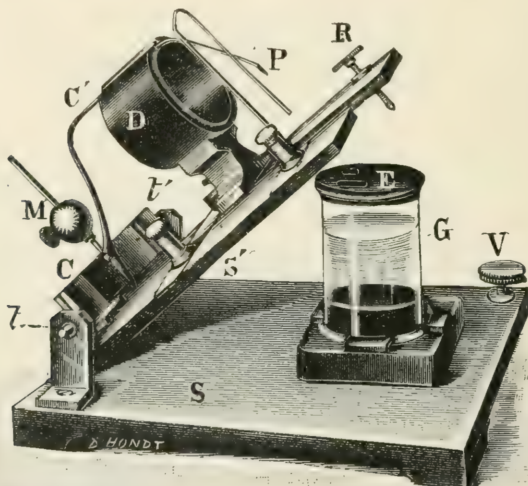


Fig. 46. — Interrupteur de M. P. Villard relevé pour le nettoiement du godet G.

vibrante sont portés par une planchette articulée à charnière (fig. 46) sur le socle ; on peut ainsi sortir le godet à mercure sans changer le réglage.

Cet interrupteur fonctionne régulièrement avec des courants d'intensités très différentes et alors même que

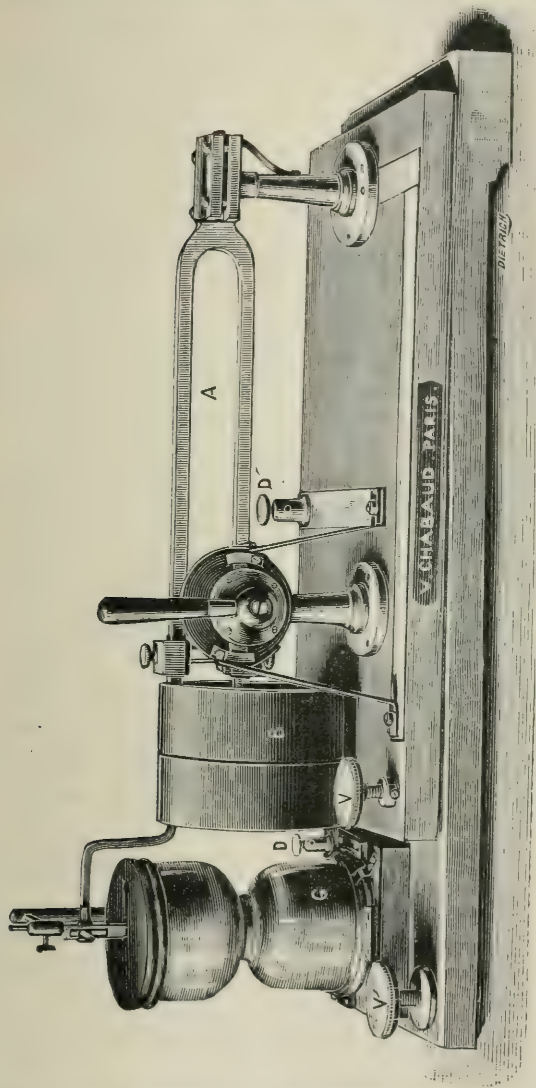


Fig. 47. — Interrupteur électromagnétique à diapason M. P. Villard.

la bobine qu'il dessert n'est entretenue que par un seul

accumulateur (2 volts). A la grande simplicité de construction qu'il présente s'ajoute l'avantage de ne pas exiger l'emploi d'une batterie auxiliaire ou d'un courant dérivé.

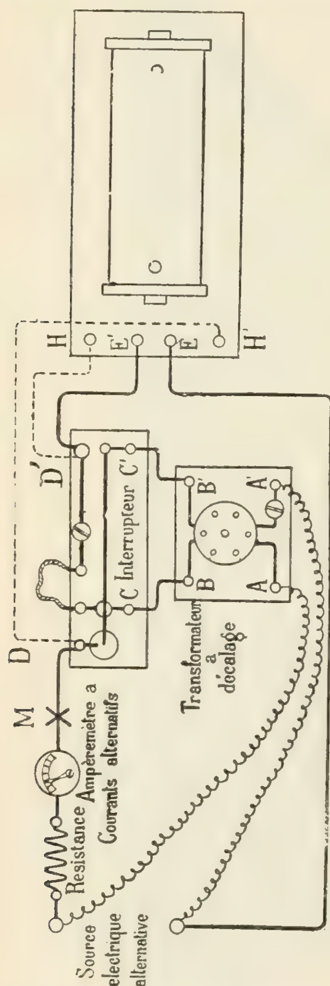


Fig. 48. — Disposition de l'interrupteur électromagnétique à diapason, de M. P. Villard, sur un circuit à courants alternatifs.

L'énergie dépensée pour l'entretien de l'interrupteur est très faible. La self-induction que sa présence introduit dans le circuit peut-être considérée comme nulle.

Un autre modèle est disposé pour des oscillations plus rapides : 40 à 45 par seconde. La lame vibrante est remplacée par un diapason (fig. 47). La manette qui est en avant sert à la fois à fermer le circuit et à mettre le diapason en mouvement, il suffit de la faire tourner de 180° pour faire les deux opérations, une clef venant dans ce mouvement, écarter les branches du diapason. Des masses, mobiles le long des branches, permettent une faible variation de la fréquence.

Le même appareil, très légèrement modifié, peut servir

pour actionner les bobines à l'aide du courant alternatif, ce qui peut être utile dans les villes où ce courant est seul distribué. Le diapason ordinairement employé, 40 à 45 vibrations doubles par seconde, convient pour un grand nombre de réseaux.

Si dans l'appareil de la figure 47 on envoie un courant alternatif, et si le diapason est en synchronisme avec ce courant, il est évident que pendant une phase la tige tendra à plonger dans le mercure, tandis que pendant l'autre elle tendra à en sortir; il n'y aura donc qu'une seule rupture par période. Mais comme il faut que la bobine ne soit parcourue que par du courant du même sens, il faut produire l'excitation du diapason par un courant spécial, pris sur le même réseau, tandis que le courant de la bobine passe d'un godet auxiliaire au godet où se fait la rupture, sans traverser l'aimant. L'installation, représentée schématiquement par la figure 48, est ainsi faite ; une dérivation prise sur le réseau alimente un petit transformateur dont le secondaire est relié à l'interrupteur ; le courant transformé parcourt toujours la partie du diapason qui traverse l'aimant, mais comme le courant est décalé par rapport au courant primaire, il est possible de régler les choses pour que la fermeture, qui se fait entre le godet D et le godet auxiliaire, se produise au début de la phase utile, tandis que la rupture se produit au maximum de cette phase.

Interrupteur à courant liquide de M. Grimsehl (1). — Un tube de verre en forme de croix (fig. 49) est disposé de manière à ce que les branches A et C soient verticales et les branches E F horizontales. — Un courant d'eau pénètre en E et traverse la branche horizontale, il sort par la branche F à l'extrémité de laquelle se trouve,

---

(1) Grimsehl. (*Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, p. 491, 14 juin 1900.)

fixée à un bouchon, une anche G dont la languette est munie à son extrémité d'une pointe de platine. Le courant d'eau détermine la vibration de la languette H grâce à la présence dans la branche verticale A, que ferme un robinet, d'une certaine masse d'air qui augmente l'élasticité du milieu vibrant, de telle sorte que, lorsque l'eau s'élève en O de 1 à 2 cm, le son produit correspond à 100 vibrations par seconde.

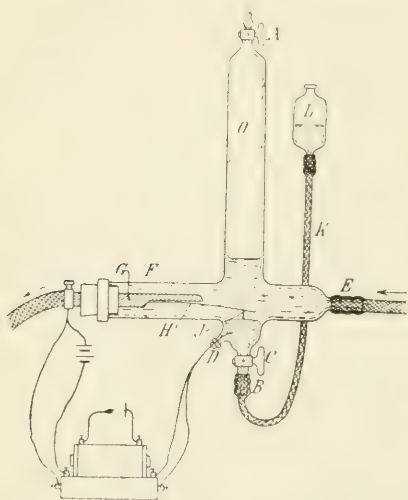


Fig. 49. — Interrupteur à courant liquide de M. Grimsehl.

Les vibrations ainsi communiquées à la languette H lui permettent d'amener au contact d'une couche de mercure placée en C, dans la branche verticale inférieure, la pointe de platine J qu'elle supporte. C'est entre cette pointe et le mercure que se produisent les interruptions du courant électrique qui pénètre en D et sort en H.

Un tube de caoutchouc K fait communiquer la branche C avec un réservoir de mercure L. On peut ainsi agir sur le niveau du mercure en C et par suite faire varier la durée des contacts de la pointe de platine. D'autre part, en faisant varier la vitesse du courant d'eau qui traverse l'appareil, on agit sur la fréquence de l'interrupteur, fréquence que l'on détermine par la mesure de la hauteur du son produit.

Le courant d'eau maintient, par sa circulation, le contact de platine à une température peu élevée ; il offre de

plus l'avantage de nettoyer la surface du mercure qui demeure ainsi constamment propre.

b. *Interrupteurs rotatifs.*

Interrupteur de MM. Ducretet et Lejeune [1]. — Cet interrupteur (fig. 50) est plus rapide que celui de Foucault;

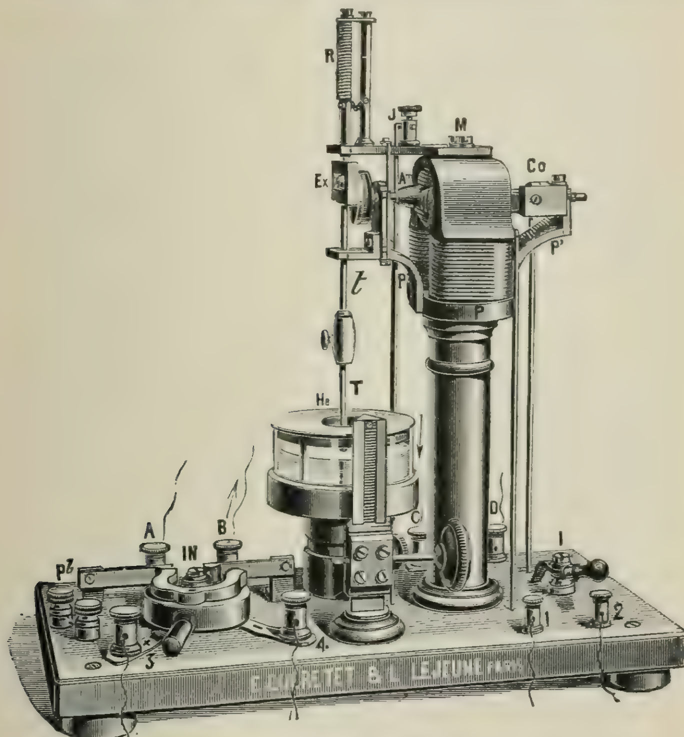


Fig. 50. — Interrupteur de MM. Ducretet et Lejeune.

de plus le dispositif adopté pour communiquer un mouvement de va-et-vient à la tige interruptrice ne provoque

---

[1] DUCRETET et LEJEUNE. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXIV, p. 1342, 14 juin 1897.)

plus, comme dans l'interrupteur de Foucault, la projection des liquides (mercure et alcool) contenus dans les godets. Ces projections sont dues au mouvement oblique de la tige interruptrice. Dans le modèle construit par MM. Ducretet et Lejeune le godet a une forme étroite à la partie inférieure qui reçoit le mercure, ce qui évite les mouvements latéraux du liquide.

Au-dessus du mercure, dans la partie large du godet on met de l'alcool (ou mieux de l'huile de pétrole) jusqu'à 2 cm environ du bord supérieur sur lequel appuie un couvercle métallique percé d'un orifice laissant passer la tige *t* T (fig. 50). Cette tige a un mouvement rectiligne alternatif; elle ne fouette pas le mercure, guidée qu'elle se trouve par deux potences solidement assujetties au bâti de l'appareil. On évite ainsi les projections du mercure. Les mouvements de va-et-vient lui sont donnés par un petit moteur électrique M. Cette tige est équilibrée ; on peut donc lui donner une très grande vitesse, variable dans des limites très étendues par le jeu d'un rhéostat intercalé sur le circuit du moteur.

A la vitesse de 5 tours par seconde, le moteur M absorbe 2 volts et 0, 6 ampère, soit 1, 2 watt. Pour obtenir 18 tours par seconde, on doit dépenser 4 watts (4 volts et 1 ampère). Si l'on veut atteindre 22 tours par seconde, il faut utiliser 6 volts et 1, 3 ampère (7, 8 watts).

Le godet à mercure dont la hauteur est aisément réglable au moyen d'une crémaillère est assujetti dans une monture à baïonnette, ce qui permet de le séparer facilement du reste de l'appareil pour procéder à son nettoyage.

Interrupteur de M. Hofmeister [1]. — Cet interrupteur est constitué par deux cuves à mercure contiguës.

---

[1] Hofmeister. (*Wiedemann's Annalen*, t. LXII, p. 379, 1897.)

Dans l'une plonge un disque de cuivre, dans l'autre tourne une étoile à trois branches. Le disque et l'étoile sont montées sur le même axe, animé d'un mouvement de rotation à l'aide d'un petit moteur. Les pointes de l'étoile sont en platine, en plongeant dans le mercure et émergeant alternativement de la cuve, elles produisent les interruptions du courant qui pénètre par l'une des cuves et sort par l'autre.

Perfectionnement de M. Hauswaldt (1). — Pour éviter les projections du mercure qui se produisent lorsque le mouvement de rotation de l'étoile est très rapide. M. Hauswaldt coude les bras de l'étoile en sens contraire de celui du mouvement, et les terminent par des couteaux à deux tranchants en argent à arête large.

Au lieu d'eau, il place au-dessus du mercure de la seconde cuve de l'huile blanche de vaseline.

Interrupteur de MM. Wydts et de Rochefort. — MM. Wydts et de Rochefort ont aussi réalisé un interrupteur rotatif (fig. 51). Une tige de cuivre rouge est fixée à l'extrémité d'un support en aluminium qui coulisse sur deux glissières en acier. Ce support est animé d'un mouvement de va-et-vient à l'aide d'un moteur électrique auquel il est relié par une bielle et une manivelle.

La tige de cuivre plonge dans un godet contenant du mercure recouvert d'alcool ou d'huile de pétrole. La distance du godet à la tige est réglable en marche.

Ce modèle d'interrupteur dépense 4,8 watts (6 volts et 0,8 ampère).

Interrupteur de M. le Dr Guilloz (2). — L'extrémité de l'axe d'une petite dynamo porte un disque de cuivre

---

(1) HAUSWALDT. (*Wiedemann's Annalen*, t. LXV, mars 1898.)

(2) GUILLOZ. (*Société française de Physique*, 2 déc. 1898.)

isolé de l'axe par un cylindre d'ébonite qui lui est concentrique. Un balai sert de prise de courant en frottant sur un anneau de cuivre brasé concentriquement sur le disque du côté de la dynamo.

L'autre face du disque porte une tige coudée, sorte de vilebrequin, dont l'autre extrémité tourne dans un pivot

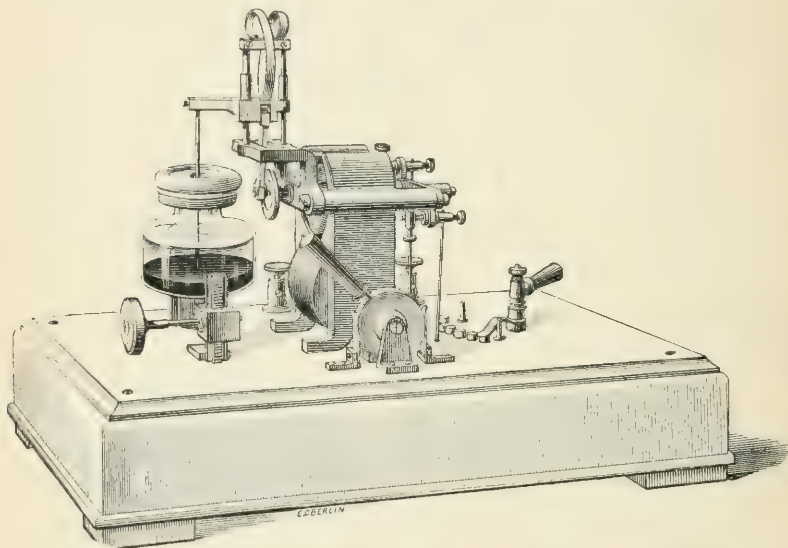


Fig. 51. — Interrupteur rotatif de MM. Wydts et de Rochefort.

fixe. Les sommets de cette tige coudée, projetés sur le disque, déterminent les sommets d'un polygone régulier centré sur l'axe de la dynamo. Ces sommets servent de têtes à des bielles de cuivre articulées dont la dernière vient, quand elle est au bas de sa course, plonger dans du mercure servant de seconde prise au courant et recouvert d'une couche d'eau. Les tiges tricotent donc avec la même différence de phase.

En donnant un grand rayon au bras du vilebrequin, ce qui est mécaniquement facile on arrive à restreindre la durée du contact.

Un interrupteur à trois tiges dont la course maximum est de 5 cm. donne 100 interruptions par seconde, la dynamo tournant à 2 000 tours à la minute. La durée de contact peut être réduite à moins de $\frac{1}{750}$ de seconde.

L'autre extrémité de l'axe de la dynamo peut porter le même système décalé de 60 degrés ce qui double le nombre des interruptions.

Interrupteur de M. Lacroix. — Cet interrupteur présente l'avantage très appréciable d'être des plus faciles à construire pour peu que l'on dispose d'un petit moteur rotatif, électrique ou autre.

Il se compose essentiellement d'un fil de cuivre A (fig. 52) de 1 mm à 1,5 mm de diamètre et de 6 à 8 cm de longueur, qui glisse à frottement doux dans un petit tube *t* de même métal sur une longueur de 4 cm. environ. Ce tube est solidement fixé à une pièce métallique coudée P qui fait corps avec l'appareil et qui constitue l'un des pôles de l'interrupteur. Le fil, terminé à la partie supérieure par une boucle, est accroché à l'extrémité inférieure d'une bielle *b* formée d'une lamelle de bois de 5 à 6 cm de longueur, 10 à 12 mm de largeur et 3 mm d'épaisseur. Cette bielle de bois *b*, dont le dessin figure la section longitudinale, est percée d'un second trou *a*, dans lequel pénètre une goupille *g* fixée sur le bord d'une poulie *p*, parallèlement à l'axe de cette poulie. La poulie est fixée à l'extrémité de l'axe du moteur employé et son axe coïncide avec celui du moteur.

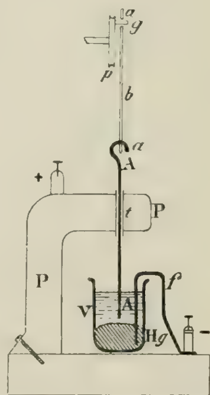


Fig. 52. — Interrupteur de M. Lacroix.

Un godet de verre ou de porcelaine V de 80 à 100 cm³ de contenance contient du mercure et une couche d'alcool ou d'huile de pétrole. Un conducteur fixe *f* qui plonge jusqu'au fond du godet constitue le second pôle de l'interrupteur.

Le fonctionnement de l'appareil est fort simple. Le mouvement de rotation de la poulie *p* imprime par l'intermédiaire de la bielle très légère mais rigide *b* un mouvement alternatif de va-et-vient au fil A qui, grâce au tube guide *t* et à la très faible masse de la partie mobile se meut sans éprouver de vibrations latérales et par suite sans provoquer de projections de mercure. Le vase V peut d'ailleurs être fermé par un bouchon laissant passer le fil A.

Il y a avantage à relier le pôle positif de la source utilisée au fil A et le pôle négatif au mercure du vase V. La surface du mercure reste ainsi bien plus longtemps propre. Le fil A, constamment amalgamé, se nettoie automatiquement par le fonctionnement même de l'interrupteur en frottant à l'intérieur du guide *t*. Le contact entre le fil mobile et le tube de cuivre est d'ailleurs excellent grâce à l'étendue des surfaces de contact.

Pour régler l'interrupteur on peut faire varier la hauteur du godet au moyen de calles ou bien encore on peut éloigner plus ou moins la goupille *g* de l'axe de rotation de la poulie *p*, grâce à une série de trous s'étageant le long d'un rayon de cette poulie. On fait ainsi varier l'amplitude des oscillations de la bielle et par suite celles des allées et venues du fil A.

On peut enfin agir sur la fréquence des interruptions en communiquant à la poulie des vitesses de rotation différentes, ce qui est facile, si l'on dispose d'un moteur électrique, par le jeu convenable d'un rhéostat approprié.

Perfectionnement de M. le Dʳ Bergonié. — M. le

Dr Bergonié qui a fait connaître [1] cet interrupteur lui a apporté quelques perfectionnements de détails qui en font un appareil de durée.

Le fil A au lieu d'être terminé par un simple crochet porte une petite pince *a*, dont la section suivant l'axe du fil est représentée dans la figure 53, et à l'intérieur de laquelle s'introduit à frottement doux une lamelle d'os ou de corne formant la bielle *b*. La bielle est assujettie dans la pince au moyen d'une vis *v*. L'ensemble du fil A et de la bielle qui constitue la partie mobile de l'interrupteur représente une masse ne dépassant pas 5 grammes ; si bien qu'aux plus grandes vitesses imprimées au moteur les vibrations de l'interrupteur sont à peine sensibles, surtout si l'on utilise un moteur tournant sans jeu d'axe. L'interrupteur fonctionne alors très silencieusement.



Fig. 53. — Bielle de l'interrupteur de M. Lacroix.

De plus, le godet V, métallique, est supporté par une tige filetée, ce qui permet de l'élever ou de l'abaisser à la façon des godets de l'interrupteur de Foucault. Une vis de pression maintient le godet à la hauteur convenable. Un couvercle d'ébonite percé d'un orifice central ferme le godet.

L'interrupteur de M. Lacroix a pu être utilisé pendant plus d'une année par M. le Dr Bergonié pour la production des rayons Röntgen sans être sujet à aucun dérangement.

c. *Interrupteurs à jet de mercure.*

Interrupteur de M. Webster [2]. — Une disposition également facile à réaliser est celle indiquée par M. Webster.

---

[1] Bergonié. (*Archives d'Électricité médicale*, n° 86, 15 février 1900.)

[2] Webster. (*American Journal of Science*, t. III, mai 1897.)

A l'aide d'un flacon contenant du mercure et muni à sa base d'une ouverture appropriée, on produit un jet parabolique de ce liquide au sein d'une masse d'eau froide constamment renouvelée.

Une pointe métallique portée par un diapason, ou bien encore une étoile métallique montée sur l'axe d'un moteur vient toucher le jet de métal, et produire ainsi les interruptions d'un courant qui, traversant le mercure, sort par le diapason ou l'axe du moteur.

On peut à l'aide de ce dispositif fort simple interrompre un courant de 20 ampères 50 à 100 fois par seconde. Il est d'ailleurs facile de régler à volonté le régime de cet interrupteur.

Interrupteur de M. Max Lévy (1). — Un vase cylindrique en verre ou en ébonite (fig. 54) contient une couche assez épaisse de mercure (de 5 à 6 centimètres) au-dessus de laquelle se trouve une couche d'alcool ou d'huile de pétrole. Un couvercle en ébonite *b* est solidement maintenu sur le vase au moyen d'une vis à écrou *p*. Ce couvercle est percé en son centre d'une ouverture qui laisse passer une tige creuse d'ébonite *a*, *a*, disposée suivant l'axe du vase et portant à l'extrémité supérieure une poulie *c* qui permet de communiquer à la tige un mouvement de rotation autour de son axe au moyen d'un moteur électrique ou autre non représenté sur la figure.

L'extrémité de la tige *a* qui plonge dans le vase est munie d'une petite pompe rotative enfermée dans une boîte de fer *d*. Pendant le mouvement, cette pompe élève le mercure de *d* en *f* de telle sorte que le liquide conducteur s'échappe par le tube effilé *f* et produit au sein du liquide isolant un jet parabolique de mercure qui tombe au fond du vase.

---

(1) Max Lévy. (*Die Elektrizitaët*, t. IX, p. 10, 13 janvier 1900.)

Au milieu de la tige *a* se trouve fixé un disque métallique *g* sur lequel sont vissées 12 ou 24 lames conductrices *h* qui, pendant le mouvement de la tige *a*, sont entraînées avec elles et viennent couper le jet de mercure qui s'échappe de l'ajutage fixe *f*. Le disque *g* communique par un fil conducteur *t* intérieur à la tige creuse *a* avec

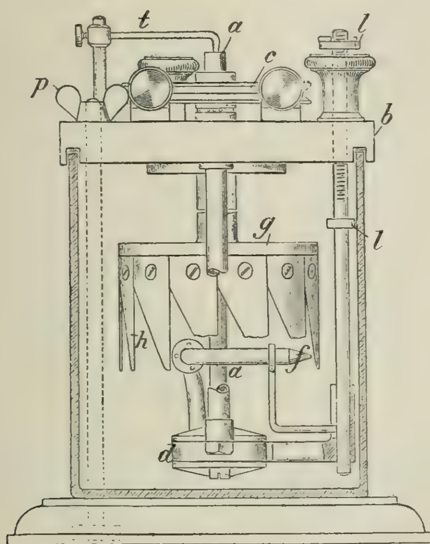


Fig. 54. — Interrupteur à jet de mercure de M. Max Lévy.

l'une des bornes de l'appareil. Ce disque constitue l'un des pôles de l'interrupteur.

L'autre pôle constitué par le mercure du fond est relié à la seconde borne par la tige métallique *l*.

Le fonctionnement de l'interrupteur se comprend aisément. Chaque fois qu'une des lames *h* vient en contact avec le jet de mercure, le courant traverse l'interrupteur. Il se produit une interruption pendant le temps qui s'écoule entre deux contacts successifs des lames *h* et du jet de mercure.

L'appareil est construit de manière à permettre de changer facilement le disque *g*, qui porte les lames *h*, et de lui substituer un autre disque portant des lames plus ou moins nombreuses ou de formes différentes.

En faisant varier la vitesse de rotation de la poulie, ou bien encore en variant le nombre des lames *h*, on peut augmenter ou diminuer la fréquence des interruptions.

En modifiant la forme des lames qui viennent couper le jet de mercure de manière à ce que la partie de ces lames sur laquelle frappe le mercure soit plus ou moins large, on peut faire varier le rapport des durées d'ouverture et de fermeture du circuit électrique que commande l'interrupteur.

Le moteur qui actionne l'interrupteur peut lui imprimer une vitesse angulaire de 5 à 17 tours par seconde ce qui permet, en utilisant un disque de 24 lames, d'obtenir des fréquences d'interruptions variant entre 120 et 400 par seconde.

Suivant M. Max Lévy les étincelles obtenues à l'aide d'une bobine d'induction desservie par cet interrupteur sont bien plus longues, toutes choses égales d'ailleurs qu'avec l'interrupteur de Foucault.

Interrupteur de l'A. E. G. — Dans cet appareil (fig. 855) une petite turbine, dont l'axe est vertical, pompe le mercure contenu dans une cuve en fonte. Le mercure monte, dans l'arbre creux de la turbine, jusqu'à un disque horizontal où il rencontre une ajutage ; il sort de là, projeté par la force centrifuge, sous forme d'un jet fin et rigide. Ce filet de mercure rencontre en tournant les dents d'un anneau de fonte suspendu dans la cuve et isolé électriquement de celle-ci. Quand le filet de mercure tombe sur une des dents le circuit est fermé ; il est ouvert quand le filet tombe dans l'intervalle de deux dents

consécutives. Les interruptions sont très franches, de même que le contact s'établit bien. La fréquence des interruptions peut être augmentée facilement : il suffit de remplacer la couronne dentée par une autre ayant un plus grand nombre de dents. La turbine est actionnée par un petit moteur électrique que l'on voit sur le côté, ou par une manivelle tournée à la main. Il y a lieu de remar-

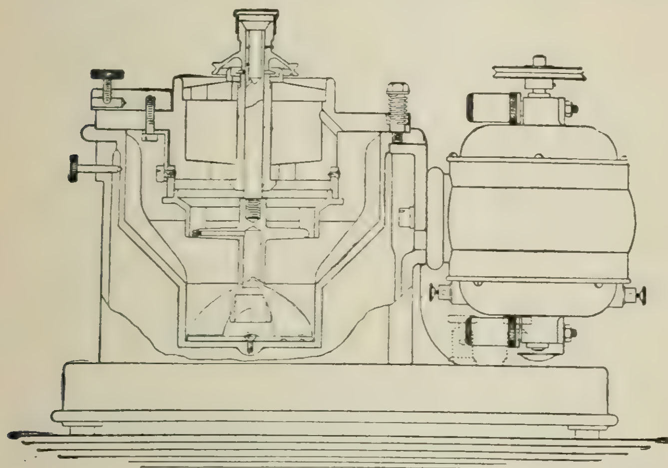


Fig. 55. — Interrupteur de l'A. E. G.

quer que cet interrupteur ne fonctionne pas à une faible fréquence, la turbine ne s'amorçant pas au-dessous d'une certaine vitesse. La cuve est naturellement remplie d'un liquide isolant ; celui qui paraît préférable dans cet appareil, c'est l'alcool. Cet interrupteur pulvérise fortement le mercure, mais l'inconvénient est assez faible puisque la turbine puise toujours le mercure homogène au fond de la cuve. Les deux ailettes hélicoïdales que l'on voit sur la coupe ont pour but d'empêcher la masse de mercure de prendre un mouvement de rotation continue qui désamorcerait la turbine. Une conséquence évidente du prin-

cipe de cet interrupteur, c'est que l'arrêt, accidentel ou volontaire, de la turbine, coupe immédiatement le circuit ; cette particularité permet de supprimer le rhéostat que l'on met généralement sur le circuit de la bobine pour éviter l'élévation anormale de l'intensité en cas d'arrêt.

Remarques. — Lorsqu'on utilise un des interrupteurs que nous venons de passer en revue pour faire fonctionner une bobine d'induction, les forces électromotrices induites lors du passage et lors de l'interruption du courant primaire ne sont pas égales en valeur absolue.

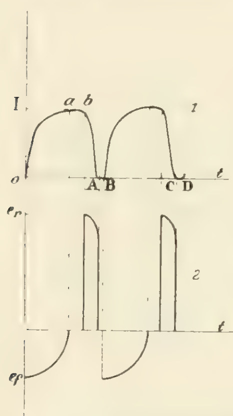


Fig. 56. — Courbes représentatives de l'intensité du courant inducteur et des forces électromotrices induites dans le circuit secondaire par le jeu d'un interrupteur ordinaire à trembleur.

La courbe 1 de la figure 56 indique les valeurs successives que prend en fonction du temps l'intensité du courant inducteur dans le circuit primaire par le jeu même de l'interrupteur. Chaque accession du courant dans le circuit inducteur dure un intervalle de temps $\mathfrak{T}$ représenté par OA, BC,.... Pendant chacun de ces intervalles de temps l'intensité du courant croît rapidement jusqu'à sa valeur maxima I. L'intensité conserve cette valeur pendant le temps que dure le contact des deux conducteurs qui produisent l'interruption, puis elle décroît rapidement au moment de l'interruption. Ces trois phases qui se succèdent pendant l'intervalle de temps $\mathfrak{T}$ sont respectivement représentées par O*a*, *ab*, *b*A. Chaque interruption du courant se produit pendant un intervalle de temps θ représenté par AB, CD,.....

Si, au moyen de cette courbe, on construit celle des

forces électromotrices induites dans le circuit secondaire en fonction du temps, on obtient la courbe 2 de la figure 56, dans laquelle e_f désigne la force électromotrice induite à la fermeture du circuit primaire et e_r celle induite lors de la rupture du même circuit. Ainsi que l'indique cette seconde courbe (fig. 57), la différence entre ces deux forces électromotrices induites est dans la plupart des cas considérable ($e_r = 2,5\ e_f$). Cette diffé-

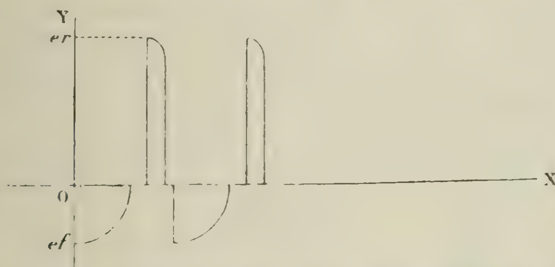


Fig. 57. — Courbe représentative des forces électromotrices induites dans le circuit secondaire par le jeu d'un interrupteur ordinaire à trembleur.

rence n'est pas sans présenter des inconvénients nombreux pour les usages des bobines d'induction.

M. V. Crémieu s'est proposé d'obvier à ces inconnients par l'emploi de l'interrupteur que nous allons décrire et que, par suite même du but qu'il atteint, nous avons cru devoir mettre à part dans la description faite ci-dessus des divers interrupteurs du genre Foucault.

Interrupteur de M. V. Crémieu [1]. — L'interrupteur imaginé par M. Crémieu présente l'avantage de changer après chaque interruption le sens du courant envoyé dans le circuit primaire de la bobine d'induction.

La partie essentielle de l'interrupteur comprend une tige T en matière isolante (ébonite) mobile autour d'un

[1] V. CRÉMIEU. (*Société française de Physique*, 4 février 1898.)

axe O perpendiculaire au plan de la figure 58. Cette tige porte deux bagues b, b' en platine, qui y sont fixées et viennent rencontrer, lorsque la tige oscille autour de O, soit les deux butoirs α, β, soit les deux butoirs α', β'. Ces butoirs sont reliés deux à deux, en croix, de manière que les butoirs α et α' communiquent entre eux et par la borne A avec le pôle positif de la source d'électricité employée ; β et β' sont reliés tous deux au pôle négatif de cette source par la borne A'. Les bagues b, b' sont d'ailleurs mises en relation par des fils souples avec les bornes C, C' entre lesquelles on introduit le circuit primaire de la bobine d'induction.

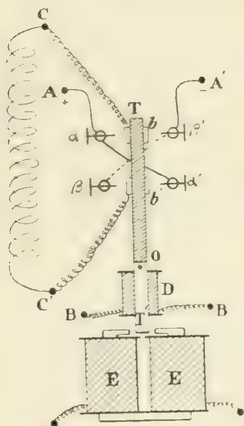


Fig. 58. — Interrupteur de M. Crémieu.

Quant à la mise en mouvement de la tige T, elle est est réalisée d'une manière fort ingénieuse. Un électro-aimant EE est parcouru par un courant alternatif. Entre les pôles de cet électro-aimant peut se déplacer une tige T' en fer, qui fait corps avec la tige isolante T et la prolonge. Une polarité magnétique déterminée est donnée à l'extrémité T' au moyen d'une petite bobine D dont le fil est parcouru par un courant continu. Quand le courant alternatif parcourt E, E la tige T' prend, ainsi que la tige T qui en est solidaire, un mouvement de vibration autour de l'axe O, mouvement dont la période est égale à celle du courant alternatif.

Lorsque la tige isolante T' porte les bagues b, b', sur les butoirs α et β, le courant de la source employée suit le chemin $A\alpha bCC'b'\beta A'$, le circuit primaire inséré entre C et C' est donc parcouru par le courant dans le sens allant de C vers C'.

Lorsque, au contact suivant, la tige T′ porte les bagues b, b' sur les butoirs α' et β' le courant de la source suit le chemin $A\alpha'b'C'Cb\beta'A'$ et par suite le courant parcourt le circuit primaire dans le sens allant de C′ vers C, c'est-à-dire dans un sens contraire au précédent.

On voit alors que l'intensité du courant envoyé dans le circuit primaire ainsi que les forces électromotrices induites dans le circuit secondaire seront représentées en fonction du temps par les courbes 1 et 2 de la figure 59. Les forces électromotrices induites de sens inverses vont être la somme de deux quantités toujours les mêmes et de mêmes signes ; elles seront donc égales en valeur absolue.

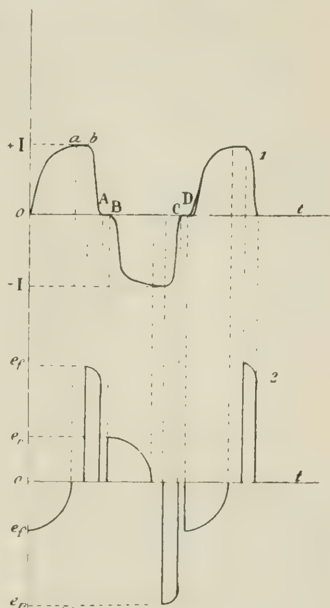


Fig. 59. — Courbes représentatives de l'intensité du courant inducteur et des forces électromotrices induites dans le circuit secondaire par le jeu de l'interrupteur de M. Crémieu.

Lorsqu'on utilise des courants intenses, il est bon de disposer l'interrupteur au sein d'un liquide isolant.

En définitive, on peut dire que l'interrupteur fonctionne comme fonctionnerait un interrupteur de Foucault au commutateur inverseur duquel on imprimerait une rotation d'un demi-tour pendant le temps de chaque interruption.

Si l'on utilise comme source d'électricité une distribution à courants alternatifs, dont une dérivation excite l'électro-aimant EE, en reliant les deux bornes C, C′, aux

deux pôles du courant alternatif (représenté par la courbe de la figure 60) on recueille entre les bornes A, A', un

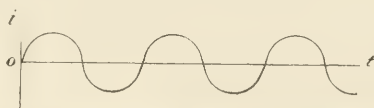


Fig. 60. — Courbe représentative de l'intensité d'un courant alternatif.

courant alternatif redressé (représenté par la courbe de la figure 61).

Dans ce cas il faut éviter que les ruptures successives se produisent au moment où la force électro-motrice



Fig. 61. — Courbe représentative de l'intensité du courant alternatif redressé obtenu par l'emploi de l'interrupteur de M. Crémieu.

périodique atteint sa valeur maximum. M. V. Crémieu a imaginé une disposition très simple permettant de produire ces ruptures au moment même où cette force électromotrice est nulle.

Les butoirs α, α', β, β', sont constitués chacun par une

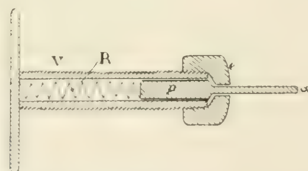


Fig. 62. — Détails d'un butoir de contact de l'interrupteur de M. Crémieu.

vis V (fig. 62), filetée sur la surface extérieure d'un tube creux, à l'intérieur duquel peut se mouvoir, à frottement doux, un petit piston p auquel est soudée la pointe de platine α formant le butoir. Un ressort à boudin très

doux R, logé dans le tube, appuie le piston *p* contre l'écrou *e* qui le maintient dans le tube.

Lorsque la tige T' est au repos, au milieu de l'espace compris entre les pièces polaires de l'électro-aimant EE, on règle les vis V de manière à ce que les quatre butoirs α, β, α', β', viennent toucher sans pression les bagues b, b'. Dès que la tige TT' oscille, les bagues se portent alternativement à droite et à gauche, repoussant α et β en quittant α' et β', puis repoussant α' et β' en quittant α et β et ainsi de suite. Comme la tige TT' passe par sa position de repos au moment même où la force électromotrice du courant alternatif qui excite EE est nulle et que les ruptures ont lieu à cet instant, on voit qu'il n'y aura entre les bagues et les butoirs que des étincelles pratiquement très faibles.

Interrupteurs du genre Wehnelt

Tous les interrupteurs que nous venons de décrire présentent, comme l'interrupteur de Foucault l'inconvénient de nécessiter un nettoyage fréquent. Sous l'influence de l'étincelle de rupture le mercure et l'huile ou l'alcool qui le couvre forment ensemble une sorte de magma qui empêche bientôt l'interrupteur de fonctionner.

L'empâtement de la tige interruptrice se produit d'autant plus rapidement que le courant employé est plus intense.

L'entretien pendant longtemps d'une bobine d'induction avec un courant dépassant 15 ampères devient donc assez pénible.

Interrupteur de M. Wehnelt (1). — M. Wehnelt a imaginé un interrupteur dont le succès doit être rapporté

(1) Wehnelt. (*Wiedemann's. Annalen*, t. LVIII, p. 233, 1899.)

tant à la grande simplicité de construction qu'il présente qu'à la commodité de son usage.

Il se compose de deux électrodes qui plongent dans un vase *a* contenant de l'eau acidulée au 1/10 par l'acide sulfurique (fig. 63). L'une des électrodes *b* présente une grande surface ; on la constitue par une large lame de plomb. L'autre électrode doit au contraire présenter la plus petite surface possible ; on la forme d'un fil de platine *c* soudé à l'extrémité d'un tube de verre *d* rempli de mercure. L'électrode de large surface doit être reliée au pôle négatif de la source d'électricité utilisée ; l'électrode filiforme, au pôle positif.

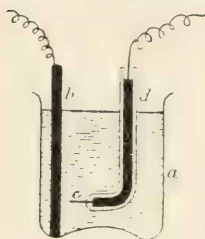


Fig. 63. — Interrupteur de M. Wehnelt.

Dans ces conditions et si la source utilisée présente un voltage assez élevé (50 volts au minimum) une série d'interruptions rapides se produit au voisinage du fil de platine, au sein du liquide.

Le nombre des interruptions par seconde varie avec la longueur et le diamètre du fil de platine employé, et aussi avec la nature du liquide dans lequel plongent les électrodes. Il égale en moyenne 5 à 600 et peut atteindre 800.

En employant comme liquide une dissolution de 10 parties de bichromate de potassium et 10 parties d'acide sulfurique dans 100 parties d'eau, on réalise un interrupteur fonctionnant avec une très grande régularité

En général on fixe le fil de platine à l'extrémité d'un tube de verre auquel il est soudé et qui plonge dans le liquide employé. Le tube est rempli de mercure par l'intermédiaire duquel l'interrupteur est intercalé dans le circuit du primaire de la bobine actionnée.

Cette disposition offre un inconvénient. Pour que l'interrupteur fonctionne régulièrement il est nécessaire que le fil de platine ne soit pas trop long ; il ne doit pas excéder 1,5 mm. Si le fil de platine est trop long, l'électrolyse se produit et l'interrupteur ne fonctionne pas, ou bien encore si le fil est un peu fin et le courant employé intense, le fil rougit, le liquide se caléfie autour du fil et le courant cesse de passer. Par contre, lorsque le fil de platine est assez court le dégagement de chaleur que le passage du courant produit provoque au bout de peu de temps la rupture du tube de verre dans la région même occupée par la soudure. On peut retarder la rupture en protégeant la soudure par une couche de mastic Golaz, mais le mastic est à la longue attaqué par le liquide acide.

Dispositifs divers de l'électrode active. — On voit donc qu'il y a avantage à pouvoir faire varier la longueur du fil de platine qui constitue l'électrode active de l'interrupteur de M. Wehnelt. A cet effet, un certain nombre de dispositifs ont été imaginés. Nous allons passer en revue les principaux.

Dispositif de M. Satori. — M. Satori emploie un gros fil de cuivre (fig. 64) deux fois recourbé à angle droit. Une borne *a* est fixée à l'extrémité de la branche verticale la plus longue. A l'autre extrémité est soudé un fil de platine *c*. La partie courbe du fil de cuivre est entourée d'un tube de caoutchouc épais *d* qui s'adapte d'une part à un tube de verre *e* entourant le fil de cuivre et d'autre part à un petit tube de verre *f* entourant le fil de platine et effilé à son extrémité. La pointe effilée de ce tube est



Fig. 64. — Électrode active de l'interrupteur Wehnelt. Dispositif de M. Satori.

assez fine pour serrer de près le fil de platine tout en lui permettant de se déplacer lorsqu'on enfonce le tube *f* dans le caoutchouc *d*.

Dispositif de M. F. Ernecke. — M. F. Ernecke dispose l'électrode active sur le côté et près du fond du vase de l'interrupteur. On pratique dans la paroi une assez large ouverture circulaire (12 à 15 mm de diamètre). Un tube

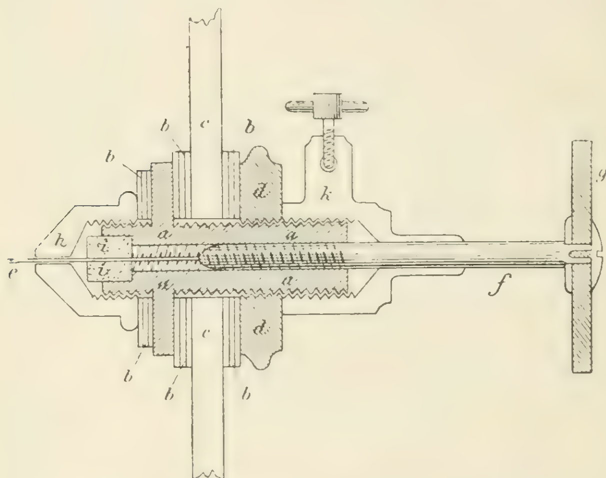


Fig. 65. — Electrode active de l'interrupteur Wehnelt. Dispositif de M. F. Ernecke.

d'ébonite *a*, *a* (fig. 65), fileté sur la surface extérieure, traverse cette ouverture et est fixé contre la paroi du vase au moyen d'un écrou d'ébonite *d*. On assure l'étanchéité du joint au moyen de rondelles de caoutchouc *b*, *b* pressées entre le verre et l'ébonite.

Le fil de platine *e* est soudé à l'extrémité d'une tige de cuivre *f* qui est filetée et se visse à l'intérieur du tube d'ébonite. En tournant le bouton isolant *g* on fait varier la longueur du fil de platine qui sort de l'ajutage *h* constitué par de la stéatite ou de la porcelaine. Un bouchon de caoutchouc *i* empêche le liquide acide de pénétrer

dans le tube d'ébonite. Une borne serre-fil disposée sur la pièce conductrice k complète le dispositif.

Dispositif de M. Carpentier. — Une disposition analogue à la précédente a été réalisée par M. Carpentier.

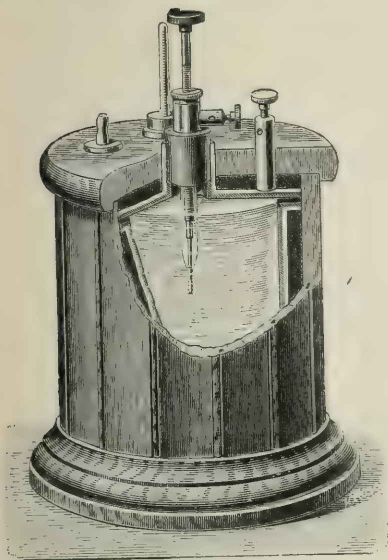


Fig. 66. — Interrupteur Wehnelt. Modèle de M. Carpentier.

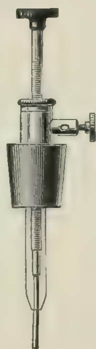


Fig. 67. Électrode active de l'interrupteur Wehnelt. Dispositif de M. Carpentier.

L'électrode active est supportée par le couvercle du vase de l'interrupteur (fig. 66) ; elle est rendue réglable par le mouvement d'une vis en plomb à laquelle est soudé le fil de platine. Cette vis est entourée d'un tube de verre qui laisse passer à frottement doux par un petit trou le fil de platine. La figure 67 représente cette électrode active, l'anode.

Lorsqu'on dispose d'un faible voltage (15 à 20 volts environ), l'interrupteur de M. Wehnelt fonctionne mieux lorsque le liquide est à une température élevée. Aussi M. Carpentier, pour permettre l'usage de l'interrupteur avec une source de faible voltage, rend-il commode

l'élévation de température du liquide qui baigne le fil de platine. Afin d'éviter le refroidissement du liquide, le vase de plomb formant cathode est entouré d'une enveloppe en feutre et d'une seconde enveloppe en bois. Pour mettre en marche l'appareil, on remplit le vase d'eau acidulée chauffée vers 90° ou bien encore on échauffe le liquide en faisant tout d'abord fonctionner l'interrupteur avec une source de 100 à 120 volts et un courant de 12 à 15 ampères. Au bout de quelques minutes, la température est assez élevée pour que l'interrupteur fonctionne à bas voltage. Cette température se maintient ensuite par le jeu même de l'appareil.

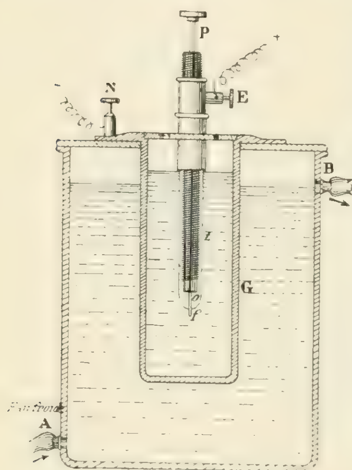


Fig. 68. — Interrupteur Wehnelt. Dispositif de M. le Dr Bordier.

Lorsqu'on dispose d'un fort voltage, ce qui arrive si l'on utilise comme source d'électricité le circuit d'un secteur de distribution (110 ou 220 volts), la température du liquide ne tarde pas à s'élever trop et l'interrupteur cesse de fonctionner. Pour obvier à cet inconvénient, M. le Dr Bordier [1] a songé à refroidir l'interrupteur par un courant d'eau froide. A cet effet, le dispositif P (fig. 68) constituant l'électrode réglable de M. Carpentier est soutenue par un couvercle isolant, en fibre, fermant un vase de plomb C qui constitue l'électrode négative. Ce vase de plomb est lui-même soutenu au centre d'une

---

[1] Bordier. (*Archives d'Électricité médicale*, n° 97, 15 janvier 1901.)

plaque de verre formant couvercle d'un cristallisoir muni de deux orifices, l'un A, disposé au voisinage du fond, l'autre B, près du bord du cristallisoir. Un courant d'eau froide pénètre par l'orifice A et sort par l'orifice B.

Formes diverses de l'interrupteur de Wehnelt. — Nous venons d'indiquer divers dispositifs ayant pour but de remplacer la soudure du fil de platine au tube de verre ; la plupart font perdre à l'interrupteur de Wehnelt un de ses principaux avantages qui consiste dans la simplicité de sa construction.

Interrupteur de M. Simon (1), *de M. Caldwell* (2). — M. Caldwell et M. Simon ont imaginé presque simultanément une variante de l'interrupteur de M. Wehnelt qui sans en compliquer la construction lui assure une durée presque illimitée.

Au lieu d'employer une électrode filiforme et une électrode à large surface, on prend deux électrodes à large surface, deux lames de plomb par exemple. Deux vases d'inégales grandeurs sont placés l'un dans l'autre et contiennent chacun une des lames de plomb. Ils sont remplis d'eau acidulée au 1/10 par l'acide sulfurique. Le

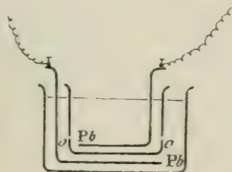


Fig. 69. — Interrupteur Wehnelt à orifices.

vase intérieur (fig. 69) communique avec le vase extérieur par un ou plusieurs orifices *o*, *o*, obtenus en perçant

---

(1) SIMON. (*Wiedemann's, Annaleu*, t. LXVIII, p. 860, 8 août 1899.)
(2) CALDWEL. (*The Electrical Review*, t. XLIV, p. 837, mai 1899.)

dans la paroi de petits trous de moins de 1,5 mm de diamètre.

C'est au voisinage immédiat de ces orifices que les interruptions se produisent.

M. Simon emploie une cuve de verre (fig. 70) partagée

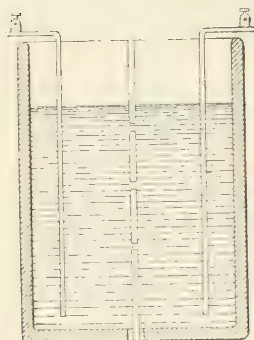


Fig. 70. — Interrupteur à orifices de M. Simon.

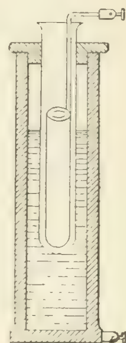


Fig. 71. — Interrupteur à orifices à vase extérieur formant électrode.

en deux compartiments par une cloison dans l'épaisseur de laquelle sont pratiqués les orifices.

On peut encore prendre une cuve en plomb (fig. 71) qui forme l'une des électrodes ; l'autre électrode, constituée par une lame de plomb, est contenue dans un tube à essai percé d'un trou de 0,5 à 1 mm de diamètre et plongeant dans la cuve.

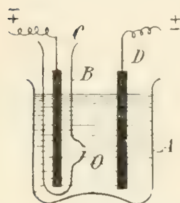


Fig. 72. — Interrupteur à orifices de M. Wehnelt.

M. Wehnelt utilise une cuve de verre A (fig. 72) dans laquelle plonge une électrode à large surface D et un tube à glucose B percé latéralement d'un trou et renfermant la seconde électrode à large surface C.

M. Caldwell constitue l'interrupteur par un tube à

glucose B (fig. 73) dont le fond est percé d'un trou E de 3 mm de diamètre, contenant une lame de plomb C et disposé à l'intérieur d'un vase A qui reçoit la seconde électrode D. Une tige de verre conique F peut être graduellement enfoncé dans le trou du tube à glucose. On peut ainsi à volonté faire varier, par la manœuvre du bouton G qui commande la vis H, la grandeur de l'orifice qui met en communication les deux vases.

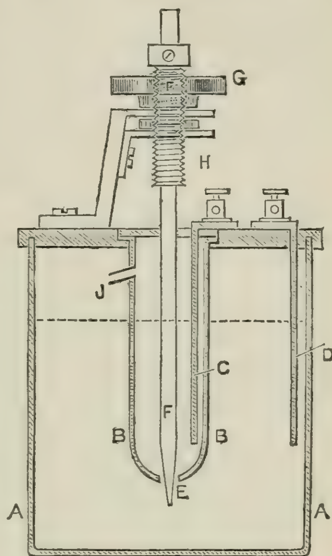


Fig. 73. — Interrupteur à orifices de M. Caldwell.

On peut encore plus simplement disposer à l'intérieur l'un de l'autre deux cristallisoirs d'inégales grandeurs contenant chacun une des lames de plomb et dont le plus petit est percé d'un certain nombre de trous.

En pratiquant plusieurs orifices dans la paroi du vase intérieur on augmente ainsi, toutes choses égales d'ailleurs, l'intensité du courant qui traverse l'interrupteur.

L'intensité du courant croît pour un même nombre d'orifices avec le diamètre de ces orifices. Ce diamètre doit être inférieur à 2 mm pour que l'interrupteur fonctionne.

Il y a avantage à constituer un interrupteur par le plus grand nombre possible d'orifices du plus petit diamètre possible. A l'usage, en effet, les trous augmentent peu à peu de diamètre.

On peut graduer l'interrupteur en le constituant par toute une série de tubes à essais percés chacun d'un trou et disposés en couronne dans le même vase. En introduisant successivement dans le circuit chacun des tubes, on augmente, à volonté, le nombre d'orifices de l'interrupteur et, toutes choses égales d'ailleurs, l'intensité du courant envoyé dans la bobine d'induction. L'usage de tubes à essai ne convient toutefois que pour de faibles intensités de courant, ne dépassant pas 6 à 8 ampères.

On peut encore constituer un interrupteur susceptible de fonctionner avec des différences de potentiel variables (1). On dispose pour cela à l'intérieur les uns des autres trois vases A, B, C (fig. 74), de grandeurs différentes, dont les deux plus petits sont percés de trous et qui contiennent chacun une électrode formée par une lame de plomb. Si le plus petit vase A est percé de trois trous et le vase moyen B de six trous, on peut indifféremment faire fonctionner cet interrupteur avec 50 volts, 120 volts et 240 volts, sans autre résistance introduite dans le circuit que celle de la bobine actionnée.

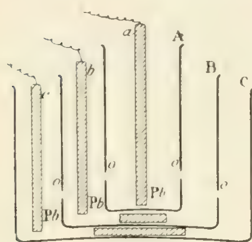


Fig. 74. — Interrupteur à orifices à trois électrodes fonctionnant avec des différences de potentiel variables.

Avec 50 volts, on fonctionne en employant l'électrode intérieure *a* et l'électrode médiane *b* ; avec 120 volts on utilise l'électrode médiane *b* et l'électrode extérieure *c* ; avec 240 volts, on oblige le courant à traverser les deux vases intérieurs en prenant comme pôles de l'interrupteur l'électrode intérieure *a* et l'électrode extérieure *c* (1).

(1) A. Turpain. — *Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 25 janvier 1900.

En opérant de cette manière, malgré la variété des chutes de potentiel employées, l'intensité du courant utilisé ne dépasse pas de 10 à 12 ampères.

Lorsqu'on utilise des courants très intenses il y a avantage à augmenter la masse de liquide employée afin que l'échauffement produit par le fonctionnement de l'interrupteur soit assez faible. Au lieu de cristallisoirs on peut employer deux sceaux de verre rentrant l'un dans l'autre.

Un dispositif commode à réaliser et qui constitue un interrupteur durable consiste à disposer à l'intérieur

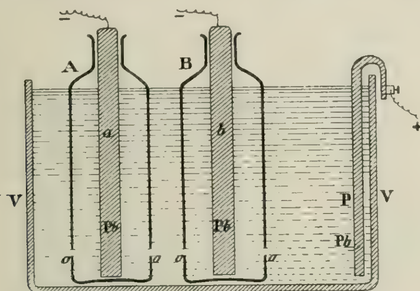


Fig. 75. — Interrupteur à orifices à grande masse liquide.

d'un bac d'accumulateur en verre V une série de trois ou quatre flacons à col étroit (de 750 cmc à 1 litre de capacité) percés chacun de deux ou trois trous au voisinage du fond. Chacun des flacons A, B,... (fig. 75) contient une électrode *a*, *b*,... formée d'une lame de plomb. L'une des parois du bac est également recouverte d'une lame de plomb P qui constitue le pôle fixe de l'interrupteur.

Le bac est rempli d'eau acidulée au 1/10.

Si l'on a ainsi réuni dans le même bac plusieurs flacons ayant servi d'interrupteurs pendant plus ou moins longtemps, comme les trous dont ils sont munis se sont plus ou moins agrandis par l'usage, on dispose en réalité d'une série d'interrupteurs réunis dans le même vase et

exigeant pour fonctionner des intensités de courant variables de l'un à l'autre.

On prendra donc pour second pôle de l'interrupteur l'une des lames *a*, *b*, *c*... suivant l'intensité du courant que l'on désire utiliser. On peut même réunir deux ou plusieurs des lames intérieures aux flacons pour constituer le second pôle de l'appareil.

La grande masse de liquide que contient le bac (10 à 15 litres) empêche que la température de l'interrupteur s'élève d'une manière notable malgré un fonctionnement de l'appareil de longue durée.

On obtient une très grande régularité en employant comme liquide une dissolution de sulfate de cuivre ; on peut alors constituer les deux électrodes par deux lames de cuivre. Il est nécessaire d'aciduler la solution par l'acide sulfurique pour diminuer la résistance du liquide.

Fonctionnement de l'interrupteur de Wehnelt. — L'interrupteur de Wehnelt ne fonctionne d'une manière convenable que si la source d'électricité employée présente une différence de potentiel notable (50 à 60 volts au minimum). Il peut très commodément être employé lorsqu'on dispose du courant d'un secteur de distribution qui présente une différence de potentiel de 110 ou 220 volts en général.

Comme on l'a vu précédemment, il peut encore fonctionner avec une source d'électricité de faible voltage, mais il faut alors élever la température du liquide acide qui baigne les électrodes.

Les très nombreuses études de l'interrupteur de Wehnelt qui ont suivi son apparition montrent que l'interruption ne doit pas être attribuée au phénomène de l'électrolyse. On recueille en effet, pendant le fonctionnement, au voisinage de l'électrode filiforme active (au voisinage des

trous, dans le type d'interrupteur Simon-Caldwell), un mélange de gaz hydrogène et oxygène.

Dans l'interrupteur de Wehnelt à électrode filiforme, on recueille au voisinage du fil de l'oxygène tant qu'il y a électrolyse et que l'interrupteur ne fonctionne pas. Dès que l'interrupteur fonctionne, c'est un mélange détonant d'oxygène et d'hydrogène qui se dégage au voisinage du fil.

Dans l'interrupteur de Wehnelt à orifices, avant le fonctionnement aucun dégagement gazeux n'a lieu au voisinage des trous; l'anode dégage de l'oxygène, la cathode de l'hydrogène. Dès que l'interrupteur fonctionne, on recueille au voisinage des orifices qui deviennent lumineux, un mélange détonant.

Si l'on étudie un interrupteur à orifices dont les électrodes sont constituées par des lames de cuivre et dont le liquide est une dissolution de sulfate de cuivre, on recueille pendant le fonctionnement, au voisinage des trous, un mélange détonant. De même un interrupteur de Wehnelt à fil de cuivre et à sulfate de cuivre donne lieu, pendant son fonctionnement, au dégagement d'un mélange détonant d'hydrogène et d'oxygène au voisinage du fil de cuivre. Dans les deux sortes d'interrupteurs, avant qu'on ait atteint l'intensité convenant au fonctionnement, il se produit un transport de cuivre d'une électrode à l'autre. Ces observations mettent donc bien hors de doute le fait que l'électrolyse ne joue aucun rôle dans le fonctionnement de l'interrupteur de Wehnelt à fil ou à orifices.

M. Rothé (1) a montré que lorsqu'on augmente graduellement l'intensité du courant qui traverse l'interrupteur, on constate trois régimes successifs.

---

(1) E. Rothé. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 30 octobre 1899.)

Un premier régime, pendant lequel l'électrolyse a lieu et qui persiste depuis de faibles intensités (3 à 4 ampères) jusqu'à 11,5 ampères. L'appareil ne peut dans ces conditions fonctionner comme interrupteur.

Si l'on cherche à augmenter l'intensité du courant, par une diminution de la résistance du circuit, l'intensité tombe subitement de 11,5 ampères à 2,5 ampères. Ce second régime, à faible intensité est variable ; l'aiguille de l'ampèremètre indique des variations d'intensité. Une fois ce régime atteint on peut augmenter ou diminuer considérablement la résistance sans qu'il soit modifié.

Il n'est donc pas indifférent de fermer le circuit directement sur une grande résistance ou de le fermer sur une résistance très faible que l'on augmente ensuite pendant que le courant circule.

L'étude du dégagement gazeux pendant ce second régime montre que ce sont les variations de la gaine de gaz qui produisent les variations de l'intensité du courant, mais elles sont trop faibles et trop lentes pour que l'anode de platine constitue un interrupteur de courant.

Dans ce cas ainsi que l'a montré M. Pellat [1] dans l'étude qu'il a faite de l'interrupteur de Wehnelt, on peut, grâce à la stabilité de ce régime, introduire sans le modifier une self-induction dans le circuit (le primaire d'une bobine d'induction, par exemple), et l'on ne constate aux bornes de l'induit aucune étincelle appréciable.

Si au contraire, la self-induction est placée dans le circuit avant la fermeture du courant, l'intensité moyenne du régime variable qui s'établit peut atteindre une intensité très notable qui dans les expériences de M. Pellat [2]

---

[1] H. PELLAT. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 27 mars 1899.)

[2] *Id.*, 20 mars 1899.

a atteint jusqu'à 30 ampères environ. C'est ce troisième régime à grande intensité moyenne qui constitue le régime normal d'interruption.

Irrégularités des interruptions. — MM. R. Federico et P. Baccei [1] ont étudié par une méthode des plus ingénieuses les durées successives des interruptions et des établissements du courant dans un circuit comprenant un interrupteur de Wehnelt. Il ont utilisé pour cette étude le phénomène de la polarisation rotatoire magnétique.

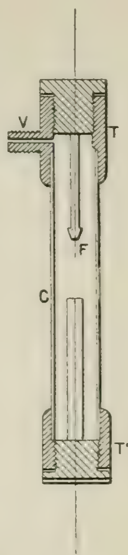


Fig. 76. — Dispositif d'interrupteur Wehnelt de MM. Federico et Baccei.

Cet interrupteur est constitué par un tube de verre C (fig. 76) de 2 cm de diamètre, muni à ses deux extrémités de garnitures en laiton. La monture supérieure T porte l'électrode active, fil de platine F de 0,2 mm de diamètre et de 15 mm de longueur. La monture inférieure supporte une lame de plomb enroulée en spirale et présentant une surface de 10 cm².

Le même circuit comprend l'enroulement primaire d'une bobine d'induction pouvant donner 15 mm d'étincelles, un solénoïde S (fig. 77) formé de plusieurs couches de gros fil de cuivre enroulé sur un tube de verre CC et l'interrupteur à étudier.

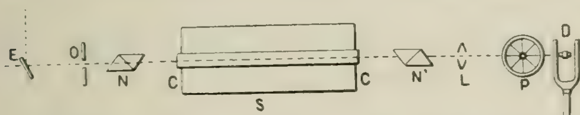


Fig. 77. — Dispositif de MM. Federico et Baccei pour étudier les irrégularités des interruptions de l'interrupteur Wehnelt.

---

[1] R. Federico et P. Baccei. (*Rendiconti della Reale Accademia dei Lincei*, t. VIII, p. 347, 17 décembre 1899.)

Le tube de verre CC qui sert de support au solénoïde S est rempli de sulfure de carbone. Un faisceau lumineux envoyé par un héliostat E est dirigé suivant l'axe du tube CC et traverse ainsi le sulfure de carbone placé entre deux nicols N, N'. Ce faisceau lumineux est concentré par la lentille L sur un rouleau de pellicule photographique P, mis en mouvement par un moteur électrique qui communique au rouleau une vitesse angulaire de 40 tours par seconde.

Les nicols étant à l'extinction, aucune impression lumineuse n'est produite sur la pellicule photographique si aucun courant ne parcourt le solénoïde S. Dès que l'interrupteur fonctionne, un courant périodiquement interrompu traverse le solénoïde : il s'ensuit un passage périodique de la lumière à travers les nicols qui produit une impression périodique de la pellicule photographique. Au développement, la pellicule offre une série de traces noires correspondant aux passages du courant dans le circuit, alternant avec des régions dégradées correspondant aux interruptions du courant.

Il est donc facile par l'observation de la pellicule développée d'évaluer les intervalles de temps qu'ont duré les interruptions successives.

On constate que, jusqu'au moment de l'interruption, l'intensité du courant reste sensiblement constante, puis elle décroît rapidement sans s'annuler complètement. La durée des interruptions est assez constante. Au contraire l'intervalle de temps séparant deux interruptions est très variable. En moyenne, le temps pendant lequel le courant est interrompu est le 1/6 de celui qui s'écoule entre deux interruptions successives.

MM. R. Federico et P. Baccei ont étudié l'influence du magnétisme sur le fonctionnement de l'interrupteur. Ils ont fait agir un champ de 12 000 unités C. G. S. et n'ont pas constaté de changement appréciable dans la

fréquence des interruptions, mais le fonctionnement de l'interrupteur est plus irrégulier dans ce cas que si l'appareil est soustrait à l'action du champ.

L'influence de la nature du liquide employé comme électrolyte a également été étudié par cette méthode. On a comparé à la dissolution d'acide sulfurique au 1/10 une dissolution de bichromate de potassium et d'acide sulfurique renfermant 10 grammes de chacune des substances dans 100 grammes d'eau.

Comme le montre le tableau suivant, la fréquence des interruptions est plus grande avec la dissolution de bichromate de potassium qu'avec l'eau acidulée, pour une même intensité de courant et une même force électromotrice.

	Solution de bichromate		Solution acidulée	
Différence de potentiel aux bornes de l'interrupteur	38 volts	59 volts	34 volts	47 volts
Intensité du courant .	5 amp.	5,3 amp.	5,3 amp.	6 amp.
Fréquence par seconde	820	940	580	620

On contate également que pendant le fonctionnement de l'interrupteur l'agitation du liquide bichromaté est très faible ; la solution reste limpide et le dégagement gazeux se montre régulier. L'échauffement du liquide est moins rapide qu'en employant l'acide sulfurique seul. Pour ces diverses raisons la solution de bichromate de potassium doit être préférée à la dissolution d'acide sulfurique au 1/10.

M. E. Ruhmer [1] a comparé au point de vue des irrégularités des interruptions l'interrupteur de Wehnelt à fil de platine et l'interrupteur à orifices. Il a constaté que ce dernier présentait, toutes choses égales d'ailleurs, bien moins d'irrégularités que l'interrupteur à fil de platine.

Ainsi M. Ruhmer a relevé pour l'interrupteur de

---

[1] E. Ruhmer. (*Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, p. 331, 26 avril 1900.)

Wehnelt 17 lacunes sur 109 interruptions, soit 16 p. 100, tandis qu'un interrupteur de M. Simon ne donnait que 5 lacunes sur 58 interruptions, soit 9 p. 100.

Comparaison des interrupteurs du genre Foucault et du genre Wehnelt (1). — On peut comparer les deux genres d'interrupteurs en prenant comme terme de comparaison l'intensité des phénomènes lumineux obtenus entre les pôles d'une même bobine d'induction desservie successivement par des interrupteurs différents. On détermine, par exemple, quel est pour chaque interrupteur et pour chaque forme d'interrupteur le maximum de longueur d'étincelle et le maximum de longueur d'étincelle en forme de chenille qu'on peut obtenir en faisant varier l'intensité du courant envoyé dans le primaire de la bobine.

La détermination de la première limite (aigrette-étincelle) permet d'apprécier la puissance, celle de la seconde limite (étincelle-chenille) permet d'apprécier la rapidité. La constance de ces longueurs limites indique la régularité.

Le tableau suivant donne quelques résultats d'une étude comparative de l'interrupteur de Foucault et d'interrupteurs de Wehnelt à fil et à orifices. Les plus grandes vitesses communiquées à l'interrupteur de Foucault ne permettent pas d'obtenir toujours l'étincelle-chenille ; il se produit plus souvent, lorsqu'on réduit la distance explosive, une étincelle entourée de flammes.

Interrupteur Foucault :

Intensité du courant	Limites de la longueur entre		
	Aigrette et étincelle	Etincelle et flamme	Etincelle et chenille
7 amp.	20 cm	7 cm	
13,50	36,5	15,5	13 cm
20	41	25	0

(1) A. TURPAIN, (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 12 février 1900.

Interrupteur Wehnelt à fil :

	Dimensions du fil				
	diamètre	longueur			
7,25	0,7 mm	5,25 mm	17 à 20	»	4 à 6
6,50	1,2	1,50	19,5	»	14 cm

Interrupteur Wehnelt à orifices :

	Nombre d'orifices			
3,50	1	23	»	7
5.50	3	29,5	»	15
7	4	31,5	»	23

En définitive, au point de vue de la *durée* et de l'*économie*, l'interrupteur de Wehnelt à orifices doit être préféré à l'interrupteur à fil de platine.

Ces deux sortes d'interrupteurs sont préférables à l'interrupteur de Foucault tant au point de vue de la *durée* qu'à ceux de la *commodité* et de la *rapidité*.

Quant à la *régularité* et à la *puissance*, l'interrupteur de Foucault, dans les limites de vitesse entre lesquelles il fonctionne, ne le cède pas aux interrupteurs du genre Wehnelt. Il est même plus régulier que ces derniers, et si l'on fait usage de certains types d'interrupteurs du genre Foucault bien construits, on obtient des effets sensiblement aussi puissants qu'avec les interrupteurs du genre Wehnelt et on réalise une très notable *économie*. En outre les interrupteurs du genre Foucault permettent de faire varier à volonté la *fréquence* des interruptions.

CHAPITRE III

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A LA TÉLÉGRAPHIE. TÉLÉGRAPHIE SANS FIL.

L'emploi des ondes électriques pour résoudre l'intéressant problème de la télégraphie sans conducteur a été suivi, au cours des diverses expériences entreprises par M. Marconi, d'un tel succès que l'on peut considérer cette première application des ondes électriques comme définitivement sortie de la période des essais.

Avant d'exposer d'abord dans ses lignes principales, puis dans ses détails, le dispositif employé par M. Marconi nous rappellerons un des dispositifs simples de télégraphie ordinaire, le télégraphe Morse, et nous indiquerons les essais de télégraphie électrique sans fil qui ont précédé les expériences de M. Marconi.

Télégraphe de Morse. — Dans tout télégraphe électrique à conducteur, l'appareil essentiel est un électro-aimant.

La télégraphie électrique usuelle est une application des propriétés de l'électro-aimant. On sait qu'un électro-aimant est constitué par une tige de fer doux autour de laquelle est enroulé un fil conducteur isolé. Si l'on lance un courant électrique dans le fil de la bobine ainsi formée, le noyau de fer doux acquiert les propriétés d'un aimant ; il devient capable d'attirer le fer. Dès que le

courant cesse de parcourir les spires de la bobine, le noyau de fer doux perd ses propriétés magnétiques.

Le télégraphe Morse, le plus simple de tous les télégraphes usuels, comprend comme organes essentiels de transmission une pile électrique et un dispositif (manipulateur) permettant, en rapprochant les deux fils *a*, *a'*, de fermer le circuit de la pile P (fig. 78). Comme organe essentiel de réception il comprend un électro-aimant E en face des pôles duquel est disposée une lame de fer, mobile, qu'un ressort antagoniste *r* maintient à une cer-

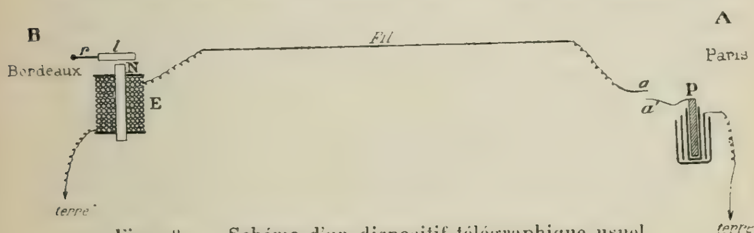


Fig. 78. — Schéma d'un dispositif télégraphique usuel. Télégraphe Morse.

taine distance du pôle N de l'électro-aimant. On se dispense de tendre un second fil conducteur entre l'appareil de réception et la pile en reliant à la terre d'une part le pôle négatif de la pile, d'autre part l'extrémité libre du fil de l'électro-aimant.

Chaque fois que les fils *a* et *a'* seront amenés au contact l'un de l'autre le courant électrique traversera l'électro-aimant et la lame *l* sera attirée, et elle demeurera en contact avec l'électro-aimant tant que le contact des fils *a* et *a'* sera maintenu. Dès que ce contact cesse, l'aimantation de E disparaît et la lame *l* reprend par l'effet du ressort *r* sa position primitive.

On est donc averti en B de la mise en contact de *a* et *a'* effectuée en A, de la cessation de ce contact, et de la durée de ce contact. Il suffit de porter son attention sur les mouvements de la lame *l*. On conçoit que si l'on com-

bine convenablement de brèves et de courtes durées de contact des fils a et a' en un code de signaux, on puisse télégraphier à l'aide de ce dispositif de A à B.

Dans la pratique on utilise le mouvement de la lame l à inscrire sur une bande de papier en traits et points successifs les durées brèves et longues de contact des fils a, a'. Un mouvement d'horlogerie entraîne la bande de papier qui passe au voisinage d'une molette garnie d'encre.

Les mouvements de la lame l ont pour effet de presser contre la molette la bande de papier pendant toute la durée de l'attraction de l'électro-aimant. Les signaux sont ainsi conservés sur la bande de papier ; on peut les déchiffrer à loisir.

La mise en contact des fils a, a' est obtenue par l'abaissement d'un levier métallique relié à a qui vient appuyer sur un contact métallique relié à a'.

La télégraphie sans fil avant l'utilisation des ondes électriques. — Avant la découverte de Hertz on avait essayé divers dispositifs électriques permettant de communiquer à distance sans conducteur.

Sans nous arrêter aux expériences faites en 1859 par Lynsey qui en disposant deux lignes conductrices parallèles situées à deux kilomètres l'une de l'autre put influencer un appareil indicateur, disposé sur le circuit de l'une des lignes, par la décharge d'une batterie envoyée dans l'autre, nous rappellerons les essais de communications entrepris en 1871, pendant le siège de Paris, par Bourbouze. Ces essais permirent l'échange de signaux entre Saint-Denis et le pont de la Concorde en utilisant la conductibilité de la Seine.

Dès l'établissement des lignes téléphoniques on avait remarqué que si deux lignes parallèles à un seul fil sont voisines, les courants transmis sur l'une produisent sur

l'autre une induction qui permet même d'écouter à l'aide d'un téléphone disposé sur la première ligne les conversations échangées par la seconde.

Si au lieu de propager des courants téléphoniques l'une des lignes utilise des courants télégraphiques la distance des deux fils peut atteindre 100 m sans que l'influence cesse de se manifester. — Avec les courants alternatifs industriels cette influence se produit encore lorsque les lignes sont distantes de 1 km.

Déjà en 1880 M. le professeur John Trowbridge avait utilisé ce phénomène à la transmission sans conducteur à la distance de un mille (1852 m) des battements d'une horloge située à l'observatoire de Cambridge (États-Unis). Cet observatoire est relié à la ville de Boston par un fil indicateur de l'heure dans lequel un courant électrique établi se trouve rompu toutes les secondes par les battements mêmes de l'horloge. En disposant parallèlement à ce fil et à une distance de un mille un fil de 150 à 180 m de long dont les deux extrémités étaient reliées à la terre et dont le circuit comprenait un téléphone on percevait dans le téléphone les battements de l'horloge.

M. W. H. Preece a utilisé le même phénomène d'induction à la communication entre les bateaux phares et la côte.

Par suite des mouvements incessants des bateaux ancrés, les conducteurs qui les relient, par l'intermédiaire d'un câble, à la côte ne tardent pas à être rompus. Pour obvier à cet inconvénient M. Preece disposait deux circuits voisins, l'un établi sur le navire même et participant à ses mouvements, l'autre fixé au fond de l'eau au-dessous du navire et relié par un câble à la côte. Si les deux circuits ne sont pas distants de plus de 6 à 8 mètres on peut échanger des conversations à l'aide de téléphones disposés sur chacun des circuits. Des communications télé-

graphiques peuvent être établies alors que la distance des circuits atteint 50 m. Lorsque la distance des circuits est de 250 à 300 m, il n'est plus possible d'échanger de signaux par ce dispositif.

La télégraphie sans fil par ondes électriques. — Les précurseurs de M. Marconi. — M. Lodge a le premier émis l'opinion (1894) que les oscillations électriques produites par un excitateur pouvaient impressionner un tube cohéreur de M. Branly à une distance d'un demi-mille du lieu de production.

Il n'entreprit aucune expérience susceptible de confirmer cette opinion. Il se contentait d'actionner à une petite distance le trembleur d'une sonnerie placée dans le circuit d'un relais, circuit comprenant un cohéreur, que les ondes électriques rendaient conducteur. Le marteau de la sonnerie venait frapper le cohéreur qui reprenait ainsi sa résistance primitive dès que les ondes cessaient de lui parvenir.

M. Popoff [1], effectua en 1895 et 1896 avec un dispositif à peu près identique des expériences de communication télégraphique.

Pour obtenir une trace des émissions successives d'ondes reçues par le cohéreur, on plaçait en dérivation sur la sonnerie un appareil inscripteur analogue au récepteur d'un télégraphe Morse. La figure 79 donne le dispositif employé par M. Popoff. Un cohéreur *c* était intercalé dans un circuit comprenant une pile P et un relais R. Placé en dérivation sur ce premier circuit, aux bornes de la pile, un second circuit comprenait une sonnerie S et le contact du relais.

Le marteau de la sonnerie pouvait frapper le cohéreur.

---

(1) POPOFF. (*Journal de la Societe physico-chimique russe*, vol. 28-29. 896. — *Elektritchestco*, octobre 1895).

Un enregistreur Richard E monté en dérivation sur la sonnerie permettait l'inscription des courants ayant traversé l'électro-aimant de la sonnerie.

Des essais analogues ont été faits vers la même époque indépendamment de M. Popoff par un de ses compatriotes, M. Narkévitch Jodko.

Le dispositif réalisé par M. Popoff paraît avoir été surtout employé par ce physicien pour étudier les décharges électriques atmosphériques. A cet effet l'une des extrémités du cohéreur était reliée à un fil métallique dressé

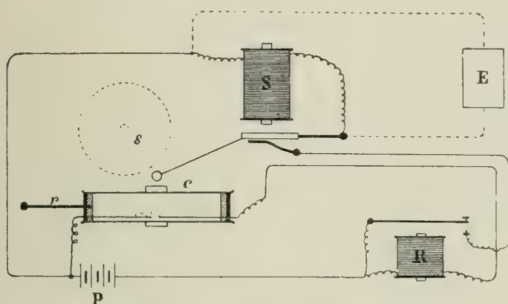


Fig. 79. — Dispositif de M. Popoff.

verticalement le long d'un mât et formant un véritable paratonnerre. L'autre extrémité du cohéreur était reliée à la terre.

Télégraphe de M. Marconi. — *Description générale.* — M. Marconi a rendu pratique à des distances voisines de 60 km les communications télégraphiques sans conducteur, par ondes électriques, que les précédents expérimentateurs n'avaient pu réaliser qu'à des distances bien moindres, atteignant à peine quelques centaines de mètres.

Le mérite du jeune ingénieur italien n'est pas d'avoir imaginé des appareils nouveaux mais il réside plutôt dans le choix très judicieux qu'il a fait des dispositifs

empruntés à ses prédécesseurs, et surtout dans le fait d'avoir porté la sensibilité et la puissance des appareils qu'il utilise à un degré inconnu jusqu'à lui.

M. Popoff, M. Narkewitch Jodko munissaient le dispositif récepteur des ondes d'une sorte de paratonnerre ; M. Marconi en dote également l'excitateur des ondes.

Deux longs fils verticaux terminés par des plaques métalliques sont donc disposés l'un à la station qui envoie les ondes, l'autre à la station qui les reçoit.

Ces fils sont désignés sous le nom d'*antennes*.

L'antenne du poste d'émission fait partie de l'un des conducteurs d'un excitateur de Hertz ou de Lodge, dont l'autre conducteur est relié à la terre.

Cet excitateur est mis en relation avec les deux pôles d'une bobine d'induction. Le circuit inducteur de cette bobine comprend un manipulateur de Morse. Chaque fois que le levier de ce manipulateur est abaissé, la bobine d'induction fonctionne, l'excitateur est mis en activité, des oscillations électriques parcourent l'antenne. L'émission des oscillations par l'antenne a lieu durant tout le temps que le manipulateur de Morse reste abaissé.

Suivons ces ondes électriques, elles se disséminent dans l'espace environnant le poste d'émission et parviennent au récepteur. Là elles rencontrent l'antenne réceptrice qui est reliée à l'une des extrémités d'un cohéreur de Branly auquel M. Marconi a su donner une extrême sensibilité. L'autre extrémité du cohéreur est mise en communication avec la terre. Placé en dérivation sur le cohéreur est un circuit comprenant une pile et l'électro-aimant d'un relais [1]. Ce relais commande un

---

[1] *Relais télégraphique.* — On désigne sous le nom de relais un dispositif qui permet de commander le fonctionnement d'un récepteur télégraphique au moyen d'un courant trop faible pour actionner directement l'électro-aimant du récepteur.

Le courant qui doit commander le fonctionnement de l'appareil télé-

récepteur de Morse en même temps qu'un trembleur dont le marteau sert à décohérer le tube de Branly.

Par suite, pendant tout le temps que l'antenne de réception recevra des ondes, le cohéreur devenu conducteur permettra au relais d'être actionné. Le récepteur de Morse sera donc parcouru par un courant. Dès que les ondes cesseront de parvenir à l'antenne, le cohéreur, redevenu résistant par les chocs du trembleur que commande le relais, cessera de permettre à la pile d'actionner le relais.

Si donc le manipulateur de Morse a été abaissé un instant seulement au poste transmetteur, une très courte

---

graphique traverse la bobine B du relais (fig. 80). Il détermine alors l'attraction de la palette *m* qui est rendue très sensible et qui passe alors de la position de repos, dans laquelle elle appuie sur le butoir α, à la position de travail. Dans cette dernière position elle appuie sur le butoir β dit butoir de travail. Le circuit comprenant la pile *p* est alors fermé par la palette *m* à travers l'électro-aimant du récepteur R, qui se trouve actionné.

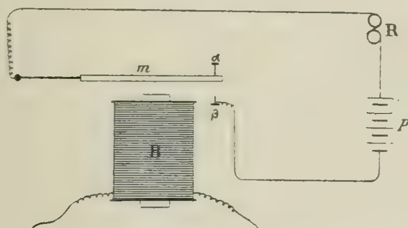


Fig. 80. — Relais télégraphique.

Les électro-aimants de certains relais contiennent une armature constituée par un aimant permanent. Dans l'état de repos la palette *m* est alors faiblement attirée par la bobine B. Le courant parcourant la bobine B a pour effet de diminuer l'aimantation de l'armature ; la palette *m* cédant alors à l'action d'un ressort antagoniste, s'éloigne de l'armature et se porte sur le butoir α.

Les relais de ce dernier type sont dits *relais polarisés*. — Pour faire actionner convenablement le récepteur par un relais polarisé ainsi disposé, il faut relier le butoir α à la pile. C'est en effet le butoir α qui se trouve être butoir de travail et le butoir β qui joue le rôle de butoir de repos.

émission d'ondes a atteint l'antenne réceptrice, le cohéreur est devenu conducteur pendant un instant, un courant de courte durée a traversé le récepteur de Morse qui porte alors sur la bande de papier un point, trace de la courte émission d'ondes envoyée.

Si au contraire on a laissé le manipulateur de Morse abaissé durant un certain temps, une émission d'ondes a entretenu pendant tout ce temps la conductibilité du cohéreur à la station réceptrice, et durant tout ce temps le récepteur de Morse a marqué la bande de papier. Un trait marque donc l'émission d'ondes de longue durée.

De même que dans le télégraphe ordinaire de Morse, les inflexions courtes ou prolongées du levier qui commande le circuit inducteur de la bobine d'induction placée à la station de départ se traduisent sur la bande de papier du récepteur Morse disposé à l'arrivée par une succession de points et de traits, et cela sans qu'aucun conducteur ne soit tendu entre les deux stations.

Mais dans cette influence du mouvement du levier sur les inscriptions du récepteur, ce n'est plus l'électro-aimant qui joue le rôle essentiel. Son rôle n'est que secondaire ; il se contente de marquer les états successifs de conductibilité et de résistance que le cohéreur, véritable organe essentiel de cette transmission, manifeste suivant qu'il est ou non frappé par les ondes électriques.

Détails du dispositif de M. Marconi (1). — Dans la description précédente nous avons supposé pour plus de

(1) Nous empruntons la majeure partie des renseignements concernant les dispositifs de M. Marconi au très intéressant article sur les ondes électriques et la télégraphie sans fil de MM. J. Boulanger et G. Ferrié (*Revue du Génie militaire*). — M. le capitaine Ferrié faisait partie de la commission française qui a suivi les expériences faites par M. Marconi à Wimereux ; il a donné une description des plus complètes des dispositifs utilisés par M. Marconi, et des résultats de ces expériences. Nous renvoyons le lecteur désireux de compléter les renseignements qui suivent au rapport publié par M. Ferrié (Berger-Levrault, éditeur, Paris).

simplicité qu'une des antennes émettait des ondes sans en recevoir et que l'autre antenne en recevait sans en émettre. Dans la pratique il faut permettre l'échange de communications entre les deux stations, aussi chaque antenne est-elle à tour de rôle antenne d'émission et antenne réceptrice.

Chaque station comporte donc deux dispositifs, l'un servant à la transmission, l'autre à la réception, qui sont tous les deux mis en communication avec l'antenne au moment voulu.

Cette communication du transmetteur et du récepteur avec l'antenne est assurée automatiquement par le jeu du manipulateur de Morse. A cet effet le levier du manipula-

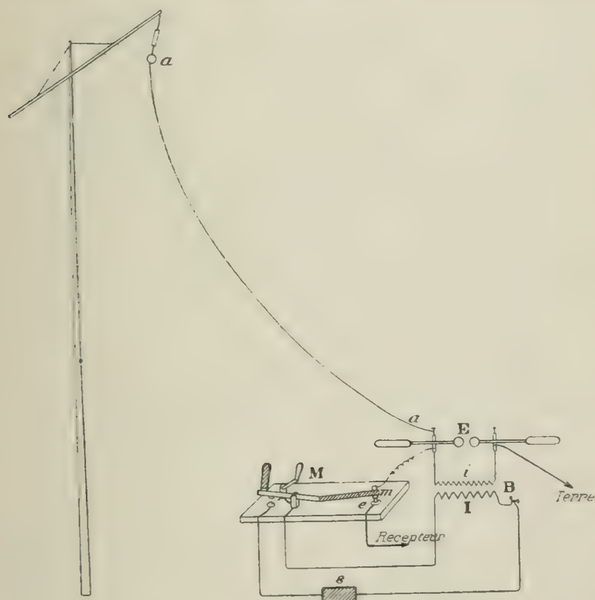


Fig. 81. — Dispositif de M. Marconi. Manipulateur.

teur est prolongé par une tige d'ébonite dont l'extrémité est munie d'une vis à contact, formant marteau, mise en

relation par l'intermédiaire d'un des pôles de la bobine d'induction avec l'antenne. Dans la position de repos le marteau est appuyé sur une enclume métallique reliée au récepteur qui, mis ainsi en relation avec l'antenne, fonctionnera dès que des ondes parviendront à l'antenne. Pendant la transmission la communication du récepteur avec l'antenne est interrompue et on empêche le contact du marteau et de l'enclume en limitant les mouvements du levier du manipulateur à l'aide d'un butoir à came (fig. 81). Le fil qui relie l'enclume au récepteur est recouvert par-dessus son revêtement isolant d'une couche d'étain. Cette couche conductrice forme cage de Faraday

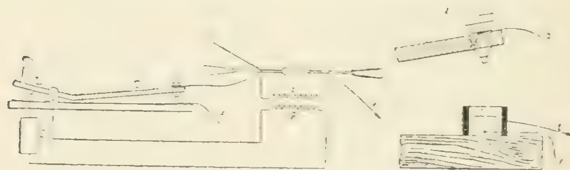


Fig. 82. — Dispositif de M. Marconi. Détails du manipulateur.

et soustrait le fil aux actions d'induction ; elle empêche par suite les oscillations produites pendant la transmission d'aller influencer, en suivant le fil, le récepteur de la station qui transmet. Les détails du manipulateur sont indiqués dans la figure 82. M est un bouton, fixé au prolongement en ébonite, qui est en relation par le fil *a* avec l'antenne. Au repos, le bouton M appuie sur le plot situé au-dessous, en communication par le fil *f* avec le récepteur. — Pour éviter la production d'étincelles entre le bouton M et le plot, ce dernier est entouré d'une gaine métallique en communication avec la terre par le fil *t*.

Poste transmetteur. — Le poste transmetteur d'une station est donc constitué d'appareils disposés suivant le schéma de la figure 83.

La partie supérieure de l'antenne est terminée par 5 ou

6 spires de fil dénudé formant une spirale, ou bien encore par une plaque métallique. Cette capacité est reliée à l'extrémité de la vergue qui soutient l'antenne au moyen d'une cordelette paraffinée et d'une série de deux cylindres d'ébonite de 0,50 m de longueur. L'ensemble de ces corps isolants éloigne la capacité de plus de 1 m de l'extrémité de la vergue qui elle-même soutient l'antenne à une certaine distance du mât qui sert à la maintenir à la hauteur voulue.

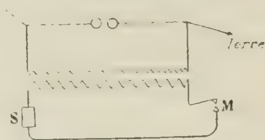


Fig. 83. — Dispositif de M. Marconi. Schéma du poste transmetteur.

Il y a, en effet, avantage, surtout pour la transmission, à ce que l'antenne soit aussi éloignée que possible des objets conducteurs.

Poste récepteur. — Les ondes reçues par l'antenne vont par l'intermédiaire du marteau et de l'enclume dont est muni le manipulateur au dispositif de réception. Le fil qui les propage est relié à l'une des armatures du cohéreur dont l'autre armature est à la terre.

Placé en dérivation sur les bornes du cohéreur se

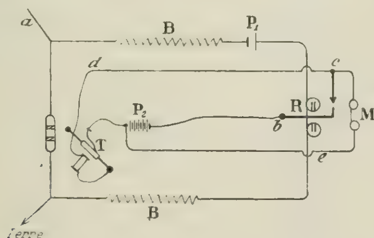


Fig. 84. — Dispositif de M. Marconi. Schéma du poste récepteur.

trouve un circuit comprenant une pile P_1 (fig. 84) et un relais polarisé R. Cette dérivation est reliée aux bornes du cohéreur par l'intermédiaire de deux bobines B,B de self-induction, qui sont formées d'un fil de fer fin d'une longueur de 12 m environ, enroulé en spires étroites et

noyées dans la paraffine. Ces bobines ont une très grande importance ; en s'opposant au passage des oscillations dans le circuit du relais elles permettent d'augmenter très notablement la distance possible de communication qui sans leur présence serait assez réduite.

Le levier du relais est en relation avec l'un des pôles d'une seconde pile P_2. Lorsqu'il est attiré il ferme le circuit de cette pile, d'une part à travers le trembleur T qui sert à décohérer le tube de Branly (circuit P_2bcdTP_2), d'autre part à travers l'électro-aimant de l'appareil récepteur de Morse M (circuit P_2bcMeP_2).

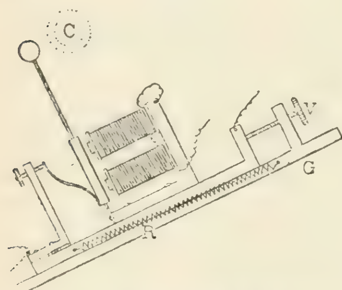


Fig. 85. — Dispositif de M. Marconi. Détails du trembleur.

La figure 85 donne les détails du trembleur servant à décohérer le cohéreur G.

En réalité le dispositif récepteur n'est pas aussi simple ; il comprend toute une série de shunts disposés comme l'indique le schéma de la figure 86 et ayant les résistances marquées sur cette figure. Ces shunts sont constitués par des bobines à double enroulement et à large noyau pour éviter la self-induction.

Suivons les divers chemins qui sont offerts au courant de la pile P_2 quand le relais est au repos et quand il est actionné. Considérons d'abord ceux de ces circuits qui comprennent le trembleur T. La résistance qui est pendant le repos du relais de 2 500 ohms n'est plus que de 2 000 ohms dès que le relais est actionné. Un calcul simple, basé sur l'application des lois de Kirchhoff à ces divers circuits dérivés, montre que l'intensité du courant de la pile P_2 à travers la bobine du trembleur varie dans le rapport de 171 à 450 lorsque le relais passe de la position

de repos à celle d'action. Le même calcul indique que la branche qui comprend en dérivation le récepteur de

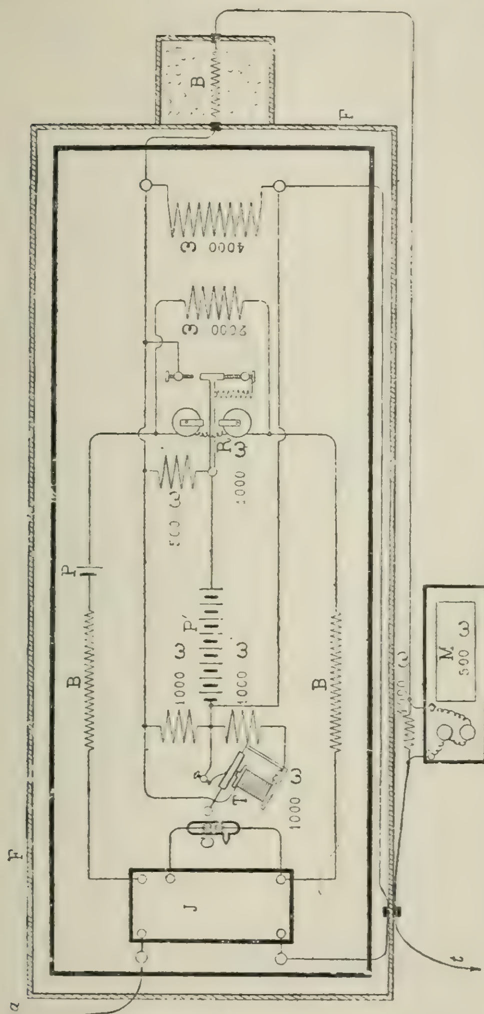


Fig. 86. — Dispositif récepteur de M. Marconi.

Morse est parcourue par un courant qui varie dans le rapport de 513 à 2 700 quand le levier de relais passe de la borne de repos à celle de travail.

Cet artifice consistant à maintenir un courant constant dans les bobines du trembleur et dans celles du récepteur permet de donner une plus grande sensibilité au premier et est indispensable pour que le second marque bien par un trait la réception d'une longue série d'ondes. Par suite de l'action incessante du trembleur qui décohère à chaque instant le cohéreur, une longue série d'ondes produirait sur la bande de papier du récepteur Morse une suite de points. L'aimantation permanente communiquée aux bobines du récepteur Morse par l'artifice précédent, jointe à l'inertie du levier d'inscription, l'empêche de se relever pendant l'intervalle des contacts successifs qu'une longue série d'ondes communique à la palette du relais.

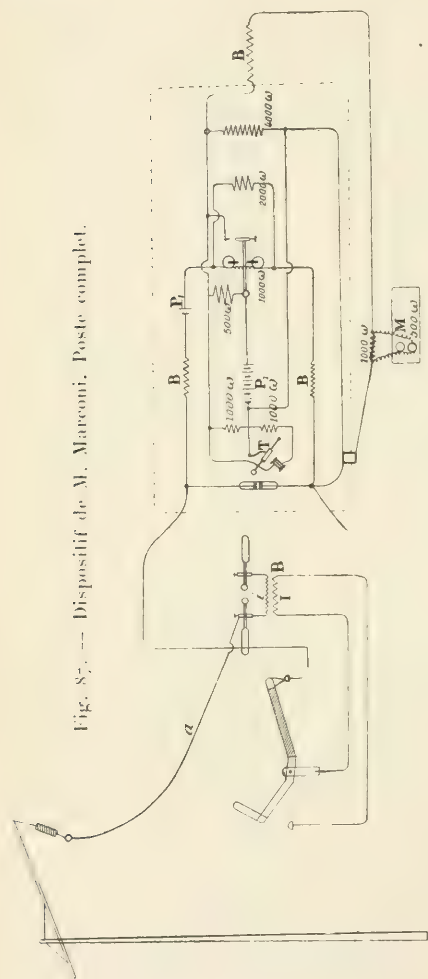


Fig. 87. — Dispositif de M. Marconi. Poste complet.

Tous les appareils composant le poste récepteur, à l'ex-

ception du récepteur de Morse sont placés dans une boîte métallique reliée à la terre. On évite ainsi que les ondes produites par la station elle-même puissent impressionner le cohéreur et par suite les organes de réception de cette station.

Poste complet. — L'ensemble des appareils tant de transmission que de réception et les connexions des organes du transmetteur et du récepteur sont indiqués dans le schéma de la figure 87.

Résultats des expériences de M. Marconi. — Les plus intéressantes expériences faites par M. Marconi sur de grandes distances sont les suivantes :

Expériences de Penarth (Angleterre). — En 1897 des communications télégraphiques sans fil furent échangées entre Penarth et Weston super mare ; les stations étaient distantes de 14 km.

L'excitateur utilisé était un excitateur à sphères de Righi dont les conducteurs mesuraient 10 cm de diamètre ; l'étincelle oscillante éclatait dans l'huile de vaseline. Cet appareil produisait des ondes de 1,20 m de longueur.

Comme antenne on utilisait un cerf-volant recouvert de papier d'étain dont la surface était mise en communication à l'aide d'un fil d'aluminium avec l'une des armatures du cohéreur dont l'autre armature était reliée à la terre.

Expériences de la Spezzia. — Au mois de juillet de la même année de nouvelles expériences furent faites à la Spezzia, port militaire italien.

Le transmetteur établi à l'arsenal San Bartoloméo comprenait un excitateur de Righi actionné par une bobine d'induction donnant 25 cm d'étincelles. Une des sphères de l'excitateur était mise en communication avec la mer. L'autre sphère était reliée par un fil de 4 mm de diamètre

à une plaque de zinc de 40 cm de côté qui terminait l'antenne. Cette plaque était fixée au sommet d'un mât de 30 m de hauteur environ.

Le récepteur était disposé à bord d'un navire de guerre italien, le cuirassé *San Martino*. L'un des pôles du cohéreur communiquait à la mer, l'autre pôle était relié à une plaque métallique fixée au sommet d'un mât du navire. Le cuirassé évoluait dans le golfe de Gênes.

Les conditions atmosphériques parurent influer sur la distance possible des communications. Certains jours elles purent être échangées à 16 km de distance, d'autres jours on ne put dépasser 7 à 8 km. Les obstacles arrêtent la transmission. C'est ainsi que lorsque le cuirassé se plaçait derrière la pointe della Cassagna, distante de 6 km du transmetteur, les signaux cessaient d'être perçus : on les recevait à nouveau dès que le navire rentrait dans le champ visuel. L'interposition entre les deux postes de masses métalliques affaiblissait notablement l'intensité des ondes, comme on put le constater en interposant entre le transmetteur et le récepteur la passerelle ou la cheminée du navire.

Le même affaiblissement s'observait lorsque le poste récepteur était disposé dans la cale du cuirassé.

*Expériences à bord de l'*Osborne. — Pendant le mois d'août 1898 des échanges de communications furent établies entre le yacht du prince de Galles, l'*Osborne*, et la côte anglaise. L'antenne du yacht était haute de 25 m au-dessus du pont. La résidence royale mise en communication avec le yacht était munie d'une antenne verticale mesurant 31 m.

La plus grande distance que l'on put franchir fut de 13 500 km malgré l'interposition d'une colline de 50 m de hauteur.

Expériences à bord de navires de la marine des Etats-Unis. — Des expériences de télégraphie sans fils furent

faites par M. Marconi, en octobre 1899 à l'aide d'appareils disposés à bord de deux navires de guerre américains, le croiseur *New-York* et le cuirassé *Massachusetts*.

Au cours de ces expériences, le *New-York* put recevoir les signaux envoyés par le *Massachusetts* alors que la distance séparant ces deux navires était de 57 km. Par contre le *Massachusetts* cessa de recevoir les signaux du *New-York* dès qu'il fut à 27 km du croiseur. Pendant une autre série d'expériences, l'inverse se produisit; lorsque la distance des deux vaisseaux atteignit 15 km les signaux émis par le *Massachusetts* cessèrent de parvenir au *New-York*.

On constata également au cours de ces expériences qu'une station, disposée à terre, à 8 km des navires américains et qui envoyait des ondes électriques, troublait les communications entre les deux vaisseaux et empêchait la perception nette des signaux échangés.

Expériences de Wimereux. — De mars à juin 1899 eurent lieu des expériences à travers la Manche, qui par leur variété et les résultats obtenus peuvent être considérées comme les plus démonstratives de toutes celles entreprises par M. Marconi.

Un poste fut établi sur la côte de France à Wimereux, près de Boulogne. La hauteur de l'antenne disposée à Wimereux était de 37 m. Une autre station était installée sur la côte anglaise dans le bâtiment de l'usine électrique des phares de South Foreland aux environs de Douvres. Ce bâtiment est situé sur une falaise élevée d'environ 80 m au-dessus du niveau de la mer. La hauteur du mât soutenant l'antenne de South Foreland était également de 37 m.

Les deux mâts se trouvaient ainsi entièrement visibles l'un pour l'autre. La distance à vol d'oiseau entre Wimereux et South Foreland est de 46 km environ.

De plus des installations de postes furent faites à bord du transport *la Vienne* qui était muni d'une antenne de 31 m et de l'aviso *l'Ibis* dont l'antenne mesurait 22 m.

Les expériences de communication en espace découvert donnèrent d'excellents résultats. Elles furent très satisfaisantes par tous les temps entre Wimereux et South Foreland et inversement. Les communications entre l'*Ibis* et la *Vienne* et les deux stations fixes ont été également très bonnes. Les distances maxima atteintes furent les suivantes :

L'*Ibis* et South Foreland. . .	25 et 30 km.
La *Vienne* et South Foreland .	48 km.

Cette dernière communication a même pu être établie dans un sens (réception à bord de la *Vienne*) jusqu'à 52 km.

Les expériences de communication avec obstacles interposés ont également fourni d'intéressants résultats.

L'*Ibis* placé à 19 km de Wimereux et de façon que le massif du cap Gris-Nez (hauteur maxima = 100 m) fut interposé entre les deux stations, put néanmoins échanger des signaux avec Wimereux.

La *Vienne* étant à quai dans le port de Boulogne on put établir une communication entre elle et Wimereux (distance = 5 km) avec une hauteur d'antenne de 12 m à bord de la *Vienne*, malgré l'interposition du massif de la Crèche d'une hauteur de 75 m environ et l'existence des canalisations électriques des quais de Boulogne.

D'après M. Marconi, des communications auraient également pu être établies entre le poste de Wimereux et deux postes situés l'un à Chelmsford, l'autre à Harwich.

Chelmsford (Essex) est situé de l'autre côté de la Tamise, à 15 km environ de la côte et sa distance de Wimereux est à vol d'oiseau de 136 km, dont la moitié

environ au-dessus de la mer (Pas-de-Calais, 48 km ; embouchure de la Tamise, 20 km).

Harwich (Essex) est situé sur la côte et la ligne droite qui va de Vimereux à Harwich et qui mesure également 136 km est toute entière située au-dessus de la mer. Seule la pointe de North Foreland la coupe sur une longueur de 8 km.

Des antennes de 45 mètres ont suffi pour assurer des communications entre ces divers postes.

Vers la même époque (septembre 1900), au cours des manœuvres navales anglaises, M. Marconi aurait réussi à entretenir des communications entre deux navires anglais, le *Juno* et l'*Europa*, alors qu'ils étaient distants de 72 milles (136 km).

Expériences de syntonisation. — Au nombre des expériences projetées entre Wimereux et la côte anglaise devaient être essayés les dispositifs dits de syntonisation préconisés par M. Marconi.

Ces dispositifs ont pour but de permettre à deux stations A,B d'échanger des signaux sans qu'une troisième station C puisse les intercepter.

A cet effet les ondes émises par les excitateurs doivent avoir toutes la même période. De plus les récepteurs (cohéreurs) doivent être rendus susceptibles de déceler les ondes de cette période à l'exclusion de toutes les autres.

S'il en est ainsi, toute autre station C, pour intercepter les communications entre A et B, doit être munie d'un récepteur en accord avec les excitateurs employés par A et B, c'est-à-dire identique à ceux utilisés par ces deux stations.

De même pour pouvoir transmettre des signaux perceptibles par A et par B, il faut que C utilise un excitateur fournissant des ondes de même période que celles qui servent à l'échange des signaux entre A et B. S'il en

est autrement, et si l'on suppose qu'en A on puisse agir sur l'excitateur employé, de façon à faire varier la période des ondes émises et de même si l'on suppose que l'on puisse rendre le cohéreur de A susceptible d'être sensible, soit aux ondes émises par B, soit à celles émises par C, on conçoit que, dans ces conditions, A puisse à volonté correspondre avec B et avec C sans que, durant ces échanges successifs de signaux, l'une ou l'autre de ces deux stations intercepte les communications émises par A.

Pour résoudre le problème ainsi posé, M. Marconi préconise les dispositifs suivants :

Les deux pôles du cohéreur au lieu d'être reliés l'un à l'antenne, l'autre à la terre sont mis en relation, par l'intermédiaire d'un condensateur, avec les extrémités du secondaire d'une bobine d'induction dont le primaire est en relation par une de ses extrémités à l'antenne et par l'autre à la terre.

C'est ce dispositif que M. Marconi appelle *jigger* (1).

Pour faire varier la période des oscillations émises par l'antenne M. Marconi flanque l'antenne d'un filet métallique formant une bande de 40 cm de large et qu'on

(1) D'après une conférence de M. Marconi (*Royal Institution*, Londres, 2 février 1900) le dispositif qu'il nomme *jigger* serait le suivant : Le circuit primaire est formé d'un fil très fin enroulé un grand nombre de fois sur un manchon en ébonite ; le secondaire est constitué par deux ou par quatre bobines de fil encore plus fin dont les couches successives présentent un nombre de tours décroissant à mesure qu'on s'éloigne de la bobine primaire, de telle sorte que la section de l'enroulement affecte une forme triangulaire. — La façon dont l'enroulement est fait et la manière dont les bobines secondaires sont reliées entre elles a la plus grande influence sur les résultats obtenus : chaque couche doit, pour chaque bobine, commencer du même côté. Si le secondaire ne comprend que deux bobines, les deux bobines doivent être reliées par les extrémités libres de chacun des fils de la couche la plus voisine de l'enroulement primaire. Dans le cas de quatre bobines, les deux bobines médianes sont reliées comme dans le cas précédent et leur relation avec les deux autres bobines se fait d'une manière inverse, c'est-à-dire en joignant la couche extérieure de chaque bobine médiane à la première couche (la plus voisine de l'enroulement primaire) de la bobine extrême adjacente.

approche plus ou moins de l'antenne ou dont on fait varier la hauteur. C'est par ce procédé de réglage, quelque peu grossier, qu'on rend l'antenne susceptible d'émettre ou de recevoir des ondes d'une période donnée.

Le fil de l'antenne est de plus relié par sa partie inférieure à des bobines de self-induction de valeur variable formée par l'enroulement du câble de l'antenne autour de cylindres d'ébonite.

Les expériences faites à Wimereux à l'aide de ces dispositifs durent être interrompues, à peine commencées, à la suite d'un accident survenu à l'inventeur.

On put toutefois constater que le transport *la Vienne* et la station de Wimereux qui avaient été réglées de façon à utiliser des ondes de périodes différentes ne pouvaient communiquer entre elles tant que leur distance restait supérieure à 2,500 km. A partir de cette limite la communication entre ces deux stations fut aussi facile qu'entre deux stations syntonisées.

Expériences de M. Slaby. — Le succès qui suivit les expériences de M. Marconi et l'intérêt qui s'attachait au problème résolu déterminèrent un grand nombre de physiciens à entreprendre des essais analogues.

En Allemagne, M. Slaby, professeur à l'Ecole militaire de Charlottenbourg, parvint à établir des communications à des distances de plus de 20 km en soutenant des antennes à de grandes hauteurs au moyen de ballons captifs. Les plaques terminales des antennes étaient supprimées et l'extrémité élevée de l'antenne était simplement fixée à un support isolant.

On produisait les ondes à l'aide d'un excitateur à deux sphères de Righi. Les grosses sphères étaient à 2 mm l'une de l'autre; les petites sphères qui servaient à relier l'oscillateur à la bobine d'induction étaient à une distance des grosses sphères variant de 3 à 15 mm.

Au lieu d'employer un cohéreur à limaille d'argent et de nickel comme M. Marconi, M. Slaby utilisait des cohéreurs à limaille d'argent. Ces appareils étaient moins sensibles que ceux de M. Marconi, mais ils ne fonctionnaient pas sous l'influence des décharges atmosphériques et les transmissions y gagnaient en régularité.

Enfin le shunt du trembleur et les bobines de self-induction B, B placées en dérivation sur le cohéreur (voir fig. 86) étaient supprimés.

M. Slaby put ainsi communiquer entre Matronenstation et Sacron (distance = 1 600 m) avec des antennes de 26 m de hauteur, malgré un rideau d'arbres placé immédiatement au-devant du transmetteur. Au cours d'autres expériences la distance franchie fut de 3 100 m, entre Matronenstation et Pfaueninsel ; les antennes étaient soutenues à 65 m au-dessus du sol et de nombreux obstacles existaient entre les deux stations. Enfin des communications purent être échangées entre Rangdsorf et Scœneberg, stations distantes de 21 km et séparées par une plaine libre. Les antennes étaient soutenues à 300 m au-dessus du sol.

D'après les expériences de M. Slaby la portée des ondes dépendrait et de la hauteur des antennes et de la visibilité réciproque des stations.

Expériences de M. Voisenat. — En 1898, M. Voisenat, ingénieur des télégraphes, fit, aux environs de Paris, des essais de télégraphie sans fil et put échanger des signaux à 10 km de distance au moyen d'antennes de 40 m de hauteur. M. Voisenat a constaté qu'il n'était pas nécessaire de munir l'extrémité élevée de l'antenne d'une capacité.

Expériences de M. Ducretet. — M. Ducretet, ingénieur-constructeur, a également obtenu des communica-

tions, sans conducteur interposé, entre deux stations situées à l'intérieur de Paris, la tour Eiffel et le Panthéon. La distance franchie est de 4 km.

Malgré le grand nombre de constructions élevées interposées entre les deux stations les signaux reçus furent très nets, même en temps de pluie. Toutefois, seuls, les signaux émis par le poste de la tour Eiffel furent reçus. Ceux envoyés par le poste du Panthéon n'impressionnaient pas le récepteur disposé sur la tour Eiffel, la masse métallique de la tour absorbant les ondes et ne permettant pas au cohéreur de les déceler.

Il y a là une confirmation des observations faites au cours des expériences de la Spezzia par M. Marconi lorsque le récepteur de la station disposée à bord d'un cuirassé était placé dans la cale c'est-à-dire au voisinage d'une importante masse métallique.

Expériences de M. Tissot. — En 1898 et 1899, M. le lieutenant de vaisseau Tissot, professeur à l'Ecole navale, a pu assurer des communications entre l'île d'Ouessant et la côte. Les signaux échangés furent très nettement perçus et les communications purent être étendues de l'île d'Ouessant à l'île Vierge c'est-à-dire à une distance de 42 km. Les antennes avaient 45 m de hauteur.

Comme M. Voisenat, M. Tissot a constaté qu'il est inutile de munir l'antenne d'une capacité à sa partie supérieure. Les cohéreurs étaient formés avec de la limaille de nickel soigneusement débarrassée des matières grasses et très légèrement oxydée. Il convient, d'après M. Tissot, d'employer des tubes cohéreurs qui ne soient pas trop sensibles. Les tubes de sensibilité moyenne décohèrent mieux que les tubes très sensibles. Contrairement à ce qui fut observé au cours des expériences de M. Marconi, l'inclinaison et l'orientation de l'antenne ne semblent pas avoir grande influence pourvu cependant qu'elle demeure

dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation.

M. Tissot constata que les brumes entravaient la transmission, contrairement aux observations faites à Wimeneux par M. Marconi. Par contre, en s'entourant de précautions, on put communiquer en temps d'orage, sans que les décharges atmosphériques aient d'influence sur la netteté des signaux échangés.

Les expériences que M. Tissot a ainsi réalisées et dont nous venons d'indiquer rapidement les principaux résultats ont été conduites d'une manière très systématique. Elles constituent, à l'heure actuelle, l'étude expérimentale la plus complète et la mieux ordonnée des divers dispositifs utilisés en télégraphie sans fil. Non seulement elles ont conduit leur auteur à des résultats pratiques d'une valeur indiscutable, mais elles sont éminemment propres à éclairer nombre de questions importantes concernant le rôle des différents appareils d'un poste de télégraphie sans fil. Ces questions étaient restées, jusqu'à ce jour, sans réponse et sans qu'on ait, les concernant, aucun renseignement précis, par suite même du peu de méthode qui avait présidée, la plupart du temps, aux essais entrepris sur de grandes distances. Nous allons indiquer, succinctement, comment ont été conduites les expériences de M. Tissot et à quels résultats elles ont conduit.

Poste transmetteur. — 1° *Bobine d'induction.* — Les bobines d'induction employées pouvaient fournir avec un courant de 5 ampères et une différence de potentiel aux bornes du primaire de 20 à 22 volts des étincelles de 40 cm de longueur, étincelles qui se réduisaient à 3 cm lorsque les bornes du secondaire étaient reliées d'une part à l'antenne, d'autre part à la terre. La capacité du condensateur variait entre 0,3 et 0,5 microfarad.

2° *Interrupteur.* — M. Tissot a employé des interrupteurs du genre Foucault (modèle de M. Ducretet). Le godet de l'interrupteur contenait de l'huile de pétrole. Des interrupteurs du genre Wehnelt ont également été utilisés pour des communications à faible distance.

3° *Manipulateur.* — Les contacts du manipulateur commandant le circuit primaire de la bobine d'induction baignaient dans le pétrole.

4° *Antennes.* — Les antennes furent successivement constituées par du fil de cuivre nu de 1 mm de diamètre, du fil de cuivre isolé de 0,4 à 0,9 mm de diamètre, des câbles de cuivre de 7 fils de 1 mm de diamètre chacun, du fil d'acier.

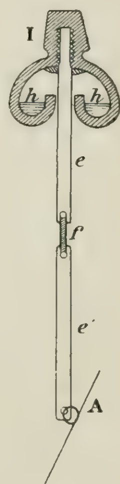


Fig. 88. — Dispositif de M. Tissot. Isolement de l'antenne.

Le fixage de l'antenne aux supports a été réalisé avec des précautions toutes particulières d'isolement. Il avait lieu (fig. 88) par l'intermédiaire de deux tiges d'ébonite *e*, *e'* de 40 cm de longueur chacune, dont l'une *e* était scellée au soufre dans une cloche d'isolateur à huile I, *h*, *h*, et l'autre *e'* était recouverte d'une cloche de verre pour la soustraire à l'humidité et à la poussière. Les tiges étaient reliées par du filin paraffiné *f*.

La pénétration de l'antenne dans le poste se faisait au moyen d'un tube de porcelaine recourbé dans l'axe duquel l'antenne était maintenue par des bouchons de caoutchouc. Ce tube de porcelaine était fixé au centre d'un carreau en ébonite remplaçant la vitre d'une des fenêtres du poste. Des retenues isolantes en ébonite et filin paraffiné empêchaient la traction de l'antenne sur le tube de porcelaine. Ces retenues étaient en nombre strictement minimum.

Poste récepteur. — *Tubes radioconducteurs.* — Les tubes à limaille employés étaient soit des tubes à réglage, construits par M. Ducretet, soit des tubes scellés construits sur les indications de M. Tissot.

Relais. — M. Tissot a successivement employé des relais Baudot, des relais Willot, puis sur les conseils de M. Voisenat des relais Claude.

Stations choisies pour les postes. — Ces stations furent au nombre de dix, toutes situées aux environs de Brest.

1° *Station du Borda.* — Cette station servit aux premiers essais (1898). L'antenne était hissée à l'extrémité d'une vergue au moyen d'une poulie.

2° *Sémaphore du Parc au Duc.* — A l'extrémité du mât du sémaphore on avait disposé une potence en fer à laquelle était attachée l'antenne qui mesurait 25 m. L'extrémité inférieure de l'antenne était fixée à une retenue isolante, formée par un poteau sur le sommet duquel était vissée une tige d'ébonite portant, scellé au soufre, un isolateur à huile. L'antenne était fixée à cet isolateur par l'intermédiaire de tiges d'ébonite. Elle pénétrait ensuite horizontalement dans le poste. La terre utilisée était la terre du poste télégraphique ordinaire du sémaphore.

3° *Phare du Portzic.* — La galerie supérieure du phare est à 31 m d'altitude. Un mât de pavillon qui en débordait maintenait l'antenne à 3 ou 4 m de la maçonnerie.

4° *Phare du Minou.* — Le phare a 22 m de hauteur. Un mât supplémentaire de 12 m y fut planté. Ce mât était retenu par 3 étais en fil d'acier ; on dut, ultérieurement changer l'étai le plus long et le remplacer par un étai en filin. Une vergue de 5 m hissée au sommet du mât maintenait l'antenne à 3 m de la maçonnerie.

5° *Clocher de Saint-Martin.* — Ce clocher situé à

1 800 m de la mer a 75 m de hauteur. L'antenne fut fixée d'abord à une poulie amarrée à un des jours supérieurs du clocher, puis à une poulie frappée au centre de la croix, enfin en dernier lieu à l'extrémité d'un espar disposé horizontalement sur les bras de la croix et débordant de 2,50 m. On obtenait ainsi une hauteur de 67 m, mais la hauteur efficace était moindre, car l'église située au centre d'une place est entourée de maisons de 15 à 18 m de hauteur. Les appareils étaient situés dans des locaux distants de 25 à 30 m du pied du clocher.

6° *Mât du Corbeau.* — Ce mât fut disposé sur une falaise de 50 m d'altitude, sur un terrain bien dégagé. Il avait 35 m de hauteur ; il était maintenu par des haubans en filin, sauf le bas mât que maintenaient des haubans en fil d'acier. La cabane du poste était à 15 m du pied du mât. L'antenne était fixée à une potence en fer placée au haut du mât et sa hauteur efficace était de 30 m. La communication avec la terre était obtenue au moyen d'une plaque de cuivre immergée dans la mer au pied de la falaise. M. Tissot estime que les conditions de dispositions de l'antenne du mât du Corbeau étaient les meilleures de toutes celles réalisées au cours de ces très nombreuses expériences.

7° *Phare du Stiff (Ouessant).* — Ce phare a 20 m d'altitude. Un mât supplémentaire de 19 m de haut y fut fixé. L'antenne avait ainsi 34 m de hauteur. Le phare est à 200 m de la mer. La communication avec la terre fut obtenue en reliant un conducteur à l'armature d'un câble sous-marin allant au sémaphore du Stiff.

8° *Phare de Trezien (Pointe de Corsen).* — La hauteur du phare est de 37 m. A l'aide d'un mât de pavillon de 6 m on éloignait convenablement l'antenne de la maçonnerie ; cette antenne atteignait ainsi 38 m de hauteur. La communication avec la terre fut assurée d'abord en reliant un conducteur au paratonnerre du phare, puis

en enfouissant en terre une plaque de cuivre abondamment arrosée, enfin en dernier lieu par une ligne aérienne allant à la mer et terminée par une plaque de cuivre. Cette ligne mesure 800 m, distance du phare à la mer, et présente une résistance de 3 ohms.

9° *Pointe Espagnole. — Pointe de Cornouailles.* — Un espar (poteau télégraphique de 8 m) était maintenu horizontalement à la partie supérieure de la falaise par deux petits haubans et une balancine. L'antenne débordait ainsi de 2 à 3 m et allait aboutir en suivant la ligne de plus grande pente à une cabane située au pied de la falaise. La longueur totale du fil était de 45 m et l'inclinaison de 30 à 40 degrés avec la verticale,

10° *Phare de l'Ile Vierge (Aber-Wradh).* — Ce poste était la limite de portée du transmetteur du Stiff. Un mât de pavillon de 5 m était placé au haut d'une tour en construction. L'antenne avait ainsi 45 m de hauteur.

Les distances de ces différents postes avec leur hauteur d'antenne sont données dans le tableau suivant :

Parc au Duc (25 m)	— Portzic (31 m).	4 km
»	— Corbeau (30 m)	7 »
»	— Pointe Espagnole (45 m). .	5 »
»	— Pointe Cornouailles (45 m).	8 »
Saint-Martin (67 m)	— Portzic (31 m).	6 »
»	— Corbeau (30 m).	6 »
Minou (33 m)	— Portzic (31 m).	6,500
»	— Corbeau (30 m)	13,500
Stiff (34 m)	— Trezien (38 m).	22 »
»	— Ile Vierge (45 m)	42 »

Au cours de ses expériences, M. Tissot a fait une étude complète des diverses causes qui peuvent influer sur la transmission et sur la réception des signaux.

Étude des causes qui influent sur le fonctionnement du transmetteur. — En ce qui concerne le transmetteur ses recherches ont porté sur les points suivants.

1° *Formes diverses d'oscillateur. Qualités de l'étincelle.* — M. Tissot a successivement expérimenté des oscillateurs à 2, 3 et 4 sphères des types Righi et Bose. Le diamètre et le nombre des boules employées n'influent en rien sur la transmission. Toutefois une disposition intéressante à signaler dans le cas d'un oscillateur à 4 sphères est la suivante : les deux sphères extrêmes sont mises en relation avec les pôles de la bobine d'induction alors que l'une des sphères intermédiaires est mise en communication avec l'antenne et que l'autre sphère intermédiaire est reliée à la terre. On évite ainsi de rendre dissymétrique la bobine d'induction employée. On constate en effet que lorsqu'on met en relation avec le sol l'un des pôles d'une bobine d'induction en activité la longueur des étincelles que fournit la bobine se trouve notablement diminuée.

Il y a en général inconvénient à ce que l'étincelle oscillante éclate dans l'huile. Le dépôt de charbon provenant de la réduction de l'huile et les bulles de gaz qui prennent naissance au sein du diélectrique nuisent à la régularité de l'étincelle. Pourvu que l'étincelle reste bien continue et garde son caractère oscillatoire, il y a intérêt à la produire la plus longue possible. La *qualité de l'étincelle* a, d'après M. Tissot, une *influence capitale* sur la transmission. Une bonne étincelle s'obtient par un parfait isolement de l'antenne et par une communication avec la terre dénuée de résistance et de self-induction.

2° *Influence de la capacité, des dimensions, de l'orientation et de l'isolement de l'antenne.* — L'addition d'une capacité au sommet de l'antenne n'a aucune influence sur la transmission ni sur la portée des ondes. L'adjonction d'une capacité à la partie inférieure de l'antenne, au voisinage de la connexion avec l'excitateur semble présenter un avantage.

Le diamètre du fil qui constitue l'antenne, l'isolement

de ce fil par un guipage, influent sur les qualités de l'étincelle, par suite sur la transmission. Pour des transmissions à distance moyenne on a pu remplacer du fil de cuivre par du fil d'acier. Lorsqu'on transmet à grande distance il y a intérêt à réduire la self-induction et à augmenter la capacité. Entre le phare de Trezien et celui de Stiff (22 km) on a eu avantage à remplacer un fil unique par un câble de 7 fils de 1 mm de diamètre chacun.

Le tableau suivant résume des expériences faites dans le but de se rendre compte de la portée des antennes ; les nombres ont été obtenus en prenant la moyenne de nombreuses expériences :

LONGUEUR DE L'ANTENNE à chaque poste	DISTANCE de transmission	DISTANCE FRANCHIE par mètre d'antenne
12 mètres	1,8 kilomètres	0,150 kilomètre
20	4 — 5	0,200 — 0,250
25	7 — 8	0,280 — 0,320
30	13,5	0,450
35	22	0,620
45	40 (limite extrême)	0,880

(Ces distances ne sont pas, sauf la dernière, les distances maxima, mais les distances auxquelles les signaux étaient reçus franchement avec un récepteur de sensibilité moyenne.)

L'inclinaison de l'antenne sur la verticale n'a qu'un rôle secondaire, au moins tant que cette inclinaison ne dépasse pas 40°. Il en est de même de l'orientation du plan vertical dans lequel se trouve cette antenne. Les expériences faites relativement à l'orientation de l'antenne ont été faites à l'aide de l'antenne de 67 m disposée au clocher de Saint-Martin. Peut-être la très grande hauteur de l'antenne relativement à la distance à franchir est-elle cause du peu d'influence constatée sur son orientation. Cepen-

dant au cours de ces expériences la hauteur de l'antenne fut réduite à 45 m. La conclusion des diverses expériences fut que les conditions de parallélisme des antennes, de peu d'importance pour des inclinaisons modérées sur la verticale, acquièrent une importance capitale lorsque les antennes sont horizontales. Ces résultats proviennent d'expériences faites à l'aide d'antennes disposées horizontalement le long des falaises.

3° *Influence de la mise à la terre.* — Il y a une absolue nécessité à établir une communication excellente de l'antenne avec la terre. En général, au cours des expériences de M. Tissot les communications avec la terre étaient obtenues à l'aide de plaques de cuivre immergées dans la mer. A Saint-Martin, on dut prendre comme terre les conduites d'eau et de gaz. Le fil qui relie l'antenne à la terre doit avoir une faible résistance et une self-induction négligeable. D'après M. Tissot, la communication avec la terre *joue à elle seule un rôle aussi important* — plus important peut-être — *que celui de l'antenne.*

Étude des causes qui influent sur le fonctionnement du récepteur. — En ce qui concerne le récepteur les recherches de M. Tissot ont porté sur les points suivants :

1° *Recherche du meilleur tube à limaille.* — Les limailles qui ont paru être les meilleures sont les suivantes :

limaille de nickel oxydé (grain de 80 à 100) [1],
— d'argent légèrement sulfuré (grain de 100 à 120),
— d'acier chromé (grain de 100 à 120).

La limaille de nickel doit être dégraissée avec soin par un lavage préalable à l'éther puis à l'alcool. Après dessic-

[1] C'est-à-dire passant à travers un tamis de 80 mailles par pouce et ne passant pas à travers un tamis de 100 mailles par pouce.

cation, on la chauffe légèrement sur la lame d'un couteau, dans la flamme d'une lampe à alcool, jusqu'à ce qu'elle prenne une teinte brun orangé. En fermant le tube on a soin de comprimer un peu la limaille entre les électrodes.

M. Tissot a reconnu que l'emploi de tubes très sensibles n'est nullement nécessaire pour obtenir des communications aux distances sur lesquelles il a expérimenté. Une sensibilité médiocre présente même des avantages au point de vue de la facilité du retour. La portée des ondes ne croît pas d'ailleurs proportionnellement au degré de sensibilité.

Pour évaluer la sensibilité d'un tube, M. Tissot emploie le dispositif suivant : une sonnerie à trembleur de 50 ohms est excitée par un élément Leclanché. Cette sonnerie est munie d'une petite antenne de 0,50 m mise en relation avec le contact de rupture du trembleur. On constate que les tubes à électrodes scellées sont sensibles à 6 m de la sonnerie ; les tubes à électrodes réglables le sont encore à 3,50 m. Pour communiquer à 22 km il suffit d'employer un tube sensible à 2 m et 2,50 m de la sonnerie.

2° *Schuntage des circuits.* — Les précautions très minutieuses et nombreuses qu'a cru devoir prendre M. Marconi pour éviter les actions perturbatrices sur le tube à limaille, nécessaires peut-être avec des tubes très sensibles, ne le sont plus avec des tubes de médiocre sensibilité. M. Tissot a reconnu qu'il suffit de shunter les circuits perturbateurs à l'aide de lampes à incandescence. On choisit des lampes dont la résistance égale 4 ou 5 fois la résistance du circuit que l'on veut shunter. Pour soustraire le tube aux influences perturbatrices M. Tissot enferme tous les circuits, sauf le tube, dans une boîte métallique.

3° *Choix du relais.* — Le relais choisi fut le relais

Claude à cadre mobile qui fonctionne bien avec un tube très sensible qui laisse passer un courant de 0,25 milliampère, avec une force électromotrice inférieure à 1,4 volt. La résistance du relais était inférieure à 200 ohms.

4° *Disposition du frappeur.* — Les qualités du choc ont une grande influence sur la facilité que présente le tube à reprendre sa résistance primitive. Un choc unique et sec est préférable à une série de chocs. Il y a avantage également à rompre le circuit du tube en même temps que se produit le choc.

M. Tissot a songé à éloigner du tube l'électro-aimant du trembleur et à ne laisser au voisinage du tube que des dispositifs mécaniques pour produire le choc. A cet effet, le choc est donné par le levier d'un tambour de Marey, mis en communication à l'aide d'un tuyau avec la capsule de caoutchouc d'un signal à transmission d'air qui est actionné par un électro-aimant. Le choc ainsi obtenu est régulier, léger et facile à régler. De plus le levier du tambour Marey peut rompre automatiquement le circuit du tube. Le seul inconvénient de ce dispositif est sa délicatesse.

Pour éviter les effets d'induction de l'étincelle qui se produit au contact vibrant d'un trembleur ordinaire, produisant le choc, on peut faire en sorte qu'à l'état normal la palette du trembleur soit attirée contre l'électro-aimant et que la conductibilité du tube à limaille ait pour effet de faire cesser le contact; si bien que l'étincelle se produit alors un peu avant le choc et pendant que le tube à limaille est encore impressionné. Elle ne peut par suite troubler le fonctionnement du tube. Enfin le choc au lieu d'être directement produit sur le tube doit être de préférence indirect. Le tube à limaille est alors fixé sur la mince planchette d'un parleur de microphone et le frappeur agit sur la tranche de la planchette.

5° *Antenne réceptrice.* — Le voisinage d'une muraille,

d'une masse de maçonnerie, a plus d'influence sur l'antenne réceptrice que sur l'antenne d'émission. Cependant, M. Tissot a pu obtenir d'excellentes réceptions à l'aide d'antennes dressées le long de hautes falaises et même en utilisant comme antenne le paratonnerre du phare de Trezien. Depuis le mois de mai 1900 l'antenne du phare a été supprimée et l'on se sert du paratonnerre comme antenne de réception. M. Tissot a également reconnu qu'on pouvait prendre comme antenne de réception à bord des bâtiments une drisse en fer, ou l'un des haubans du mât ou le mât militaire lui-même qui est métallique.

6° *Influence de la mise à la terre.* — La mise à la terre du poste récepteur joue un rôle aussi important que la mise à la terre du poste transmetteur. A ce sujet une expérience faite par M. Tissot au phare de Trezien est très probante : on n'obtint pas une bonnne réception des signaux en prenant comme communication à la terre le paratonnerre du phare, pas plus qu'en constituant la mise à la terre par une plaque de cuivre enfouie et abondamment arrosée, mais la réception redevenait possible dès que l'on prenait comme terre la plaque de cuivre baignant dans la mer et reliée au poste par une ligne de 800 m. D'après cette expérience il paraît malaisé d'arriver à obtenir dans des régions éloignées de la mer des communications à distances notables par les procédés de la télégraphie sans fil.

7° *Influences atmosphériques.* — Au cours de ses expériences M. Tissot a observé que l'état de l'atmosphère semble n'avoir qu'une très faible influence sur l'échange des signaux.

L'état hygrométrique de l'air et l'état du ciel sont sans influences.

Le vent, la pluie, la neige n'ont également aucune action sur la facilité des communications.

Une brume épaisse produit une réduction marquée de

la portée des ondes. Cet effet doit être rapporté à la conductibilité de la couche d'humidité qui se dépose sur les supports isolants de l'antenne.

Pendant un violent orage, M. Tissot put obtenir des transmissions très lisibles. Les rares effets des décharges sont d'ailleurs très faciles à démêler au cours de la réception. M. Tissot recommande toutefois, en cas d'orage, d'arrêter les transmissions car elles ne sont pas alors sans présenter quelque danger.

7° *Expériences de syntonisation.* — M. Tissot a essayé de réaliser des transmissions en utilisant le dispositif décrit par M. Marconi sous le nom de « jigger ». Bien qu'il se soit astreint à suivre très scrupuleusement les indications fournies par M. Marconi à ce sujet, M. Tissot n'a pu arriver à réaliser aucune expérience de syntonisation, ni au poste du Trezien, ni au poste de Saint-Martin où ces expériences ont été tentées.

M. Tissot en conclut que, si M. Marconi est arrivé à réaliser des transmissions qui résolvent le problème de la syntonisation, ce doit être par d'autres procédés que ceux qu'il a décrits.

Au cours de ces dernières expériences M. Tissot a été amené à réaliser un dispositif qui paraît augmenter la sécurité de la réception. L'antenne A (fig. 89) est reliée à la terre T par l'intermédiaire d'une bobine de self-induction *s*. Une dérivation *a* aboutit à l'une des armatures d'un con-

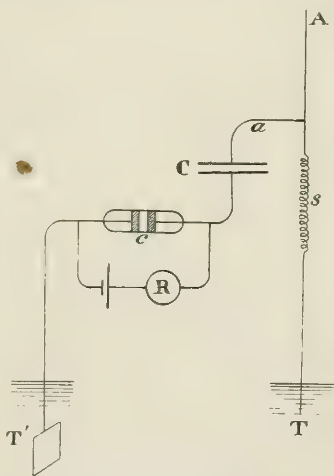


Fig. 89. — Dispositif récepteur de M. Tissot.

densateur dont l'autre armature est reliée à la terre T' par l'intermédiaire du cohéreur *c*. En dérivation sur les bornes du cohéreur se trouve branché, à la manière ordinaire, le circuit comprenant un élément de pile et le relais R.

Expériences de MM. L. Lecarme. — Dans le but d'établir entre le sommet du Mont Blanc et Chamonix un échange de signaux MM. Lecarme ont fait des essais de télégraphie sans fil entre ces deux points.

Au cours de ces essais des ondes électriques étaient envoyées par un poste transmetteur établi à Chamonix. Un dispositif récepteur était installé au sommet du Mont Blanc à l'observatoire de M. Vallot, observatoire situé à 4 350 m d'altitude. La communication n'était ainsi assurée que dans un sens, de Chamonix au Mont Blanc.

L'excitateur employé était un excitateur de Hertz, l'écart des boules atteignait 2 cm. Cet appareil était entretenu à l'aide d'une bobine donnant 18 cm d'étincelles.

Le cohéreur disposé au poste récepteur était à limaille d'or.

La distance à vol d'oiseau des deux postes est de 12 km ; la différence d'altitude de 3 450 m.

L'antenne du poste d'émission (Chamonix) mesurait 25 m.

Les expériences effectuées pendant le jour donnèrent des résultats satisfaisants. Il fut impossible de communiquer dès que l'éclairage électrique de Chamonix était en activité. Cet éclairage est assuré au moyen de courants triphasés (2 500 volts) qui avaient une influence très marquée sur les dispositifs établis et qui empêchaient toute communication.

MM. Lecarme ont également réalisé des communica-

tions entre un transmetteur placé à terre et un récepteur disposé dans un ballon. L'antenne du ballon était constituée par une plaque métallique suspendue par un fil conducteur de 50 mètres. Le récepteur ne comprenait qu'une sonnerie reliée au cohéreur. Les derniers signaux perçus le furent alors que le ballon était à 800 mètres d'altitude et à 6 km du transmetteur.

Expériences de M. Popoff. — En utilisant comme appareil récepteur un cohéreur à charbon relié à un téléphone, M. Popoff a pu obtenir des transmissions régulières à des distances de 36 et de 50 kilomètres.

Les communications sont établies depuis le mois de février 1900 entre une île du golfe de Finlande (Hogland) et le continent. L'un des postes est placé à 5 km de la côte, au milieu d'un pays boisé. Les mâts qui portent les antennes ont 48 m de hauteur. Plusieurs îles se trouvent interposées entre les deux stations. Malgré ces particularités, les signaux échangés sont assez nets pour permettre un service régulier de communications entre les deux postes [1].

Nouvelles expériences de M. Tissot. — Tout récemment M. Tissot en employant le cohéreur à cohésion magnétique que nous avons décrit précédemment (ch. I, p. 29) a pu augmenter très sensiblement la distance que lui permettaient de franchir ses dispositifs antérieurs.

---

[1] Cette installation de télégraphie sans fil avait été réalisée en vue du sauvetage du cuirassé russe *le Général-Amiral d'Apraxine*, échoué sur les côtes de l'île Hogland, l'hiver dernier, par 20° au-dessous de zéro. Les transmissions établies, il fut permis de signaler, par le télégraphe sans fil, qu'un bloc de glace s'étant détaché près de Zovensary, un groupe de pêcheurs qui s'y trouvait était entraîné vers la pleine mer. Le télégramme d'alarme fut reçu par le navire brise-glaces *Ermack*, et les 27 pêcheurs échoués sur le bloc de glace furent sauvés d'une mort certaine.

C'est ainsi que dans une première série d'expériences on a pu recevoir des signaux du *Masséna*, bâtiment de l'escadre du Nord, à une distance de 18 milles (33 km) avec des antennes qui n'atteignaient pas 30 m de hauteur [1].

Plus récemment encore [2] la pratique du même procédé a permis à M. Tissot d'assurer des communications d'une netteté parfaite à une distance de 33 milles (61 km), entre un cuirassé et le phare de Portzic. Les antennes du poste d'émission et du poste de réception ne mesuraient qu'une hauteur totale de 30 m.

Les communications n'ont pas seulement consisté en la transmission de signaux rythmés intermittents, mais encore en l'échange de phrases complètes, télégraphiées en clair et interprétées au Morse par des marins télégraphistes.

Enfin, au mois de septembre 1900, M. Tissot a communiqué entre le sémaphore de Ouessant-Stiff et celui de Keramezec, distants de 45 milles (83 km).

Il a pu également communiquer entre le poste d'Ouessant-Stiff et le vaisseau *Bruix*, allant de Brest à Rochefort, pendant trois heures en cours de route.

A propos de ces nouvelles expériences, nous pouvons donner les renseignements suivants, que nous devons à la très amicale complaisance de M. Tissot, qui a bien voulu nous les communiquer.

Transformateur. — L'appareil d'induction employé dans ces nouvelles expériences était un transformateur de MM. Wydts et de Rochefort, qui possède, comme nous l'avons vu (p. 53 et 55), la propriété d'être unipolaire. Cette propriété rend son usage des plus avantageux en

---

[1] TISSOT. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 2 avril 1900.

[2] *Id.*, 21 mai 1900.

télégraphie sans fil, alors qu'on se trouve dans la nécessité de relier l'un des pôles du circuit secondaire à la terre. Grâce à cette propriété, ce transformateur est de beaucoup préférable aux bobines ordinaires d'induction.

L'oscillateur employé était à deux boules platinées ou dorées. On pourrait obtenir une étincelle oscillante mesurant de 6 à 7 cm.

Le condensateur offrait une très grande capacité que l'on pouvait aisément faire varier dans de larges limites (de 0,69 μ.φ à 4.43 μ.φ) à l'aide d'un jeu de fiches. — L'interrupteur était du genre Foucault (modèles de MM. Wydts et de Rochefort).

Le manipulateur qui commandait le circuit primaire du transformateur était à contacts platinés noyés dans le pétrole.

Cohéreur. — Le tube à limaille était constitué par deux électrodes en fer doux recuit de 3 à 4 mm de diamètre exactement ajustées au tube. Ces électrodes (fig. 90) sont taillées en biseau et présentent une petite



Fig. 90. — Cohéreur de M. Tissot. Disposition des électrodes.

portion plane normale à l'axe du tube. La limaille de fer doux, aussi peu oxydée que possible, était en petite quantité.

Les cohéreurs sont enfermés dans une gaine métallique qui permet de les remplacer avec la plus grande facilité. Le contact est établi à l'aide de vis de pression sur deux calottes nickelées soudées aux fils des électrodes et scellées aux extrémités du tube.

Le champ magnétique, variable à volonté, est produit

à l'aide d'un petit aimant en fer à cheval disposé au-dessus du tube dans le même plan vertical. L'aimant étant commandé par une tige filetée, le réglage est des plus faciles.

Frappeur. — Le frappeur produit le choc sur la gaine métallique qui porte le tube à limaille. Il a été construit par M. Rochefort et répond aux divers desiderata suivants : amortissement complet des vibrations ; synchronisme du mouvement du frappeur et du mouvement de la palette du relais ; réglage de la force des chocs ; suppression complète des extra-courants qui est obtenue par l'emploi de shunts sans self-induction constitués par des crayons de silicium aggloméré.

Résultats des expériences. — Les résultats des diverses expériences réalisées tant entre bâtiments qu'entre bâtiments et sémaphores, sont résumés dans le tableau suivant. Les nombres entre parenthèses indiquent les hauteurs d'antenne.

Masséna (25,6 m) et	*Portzic* (31 m)	35,1 km
id.	*id.*	61,1 »
id.	*Guichen* (?).	37 »
id.	*Bruix* (?)	48,1 »
id.	*Dupuy-de-Lôme* (27 m). . .	72,2 »

Ces résultats peuvent être comparés avec avantage aux meilleurs de ceux obtenus par M. Marconi.

Ils peuvent être considérés comme résolvant d'une manière complète et pratique le problème des communications par télégraphie sans fil entre bâtiments et entre bâtiments et sémaphores par l'emploi des dispositifs de M. Tissot.

Résumé des diverses expériences de télégraphie sans fil par ondes électriques. — Dans le tableau suivant sont résumées les diverses conditions des expériences successives précédemment décrites. La lecture de ce

tableau permet de se rendre compte des progrès réalisés au cours de ces diverses expériences.

Expériences.	Distance.	Hauteur des antennes.	Communications assurées.
	km	m	
Penarth (Marconi)	14	?	dans les deux sens.
Spezzia (Marconi). . . .	16	30 — ?	id.
Osborne (Marconi). . . .	13,500	25 — 31	id.
Etats-Unis (Marconi). . .	57	?	dans un sens.
Wimereux (Marconi). . .	46	37 — 37	dans les deux sens.
Wimereux (Marconi). . .	48	37 — 31	id.
Wimereux (Marconi). . .	52	37 — 31	dans un sens.
Chelmsford (Marconi) . .	136	45 — 45	dans les deux sens.
Rangsdorf (Slaby). . . .	21,100	300 — 300	id.
Paris (Voisenat).	10	40 — 40	id.
Paris (Ducretet)	4	?	dans un sens.
Brest (Tissot).	4	25 — 31	dans les deux sens.
Brest (Tissot).	7	25 — 30	id.
Brest (Tissot)	5	25 — 45	dans un sens.
Brest (Tissot).	8	25 — 45	id.
Brest (Tissot).	6	67 — 31	dans les deux sens.
Brest (Tissot).	6	67 — 30	id.
Brest (Tissot).	6.500	33 — 31	id.
Brest (Tissot).	13.500	33 — 30	id.
Ile d'Ouessant (Tissot). .	22	34 — 38	id.
Ile d'Ouessant (Tissot) .	42	34 — 45	id.
Mont Blanc (Lecarme). .	12	25 — ?	dans un sens.
Finlande (Popoff)	50	48 — 48	dans les deux sens.
Masséna (Tissot)	35.100	26,5 — 31	id.
Masséna (Tissot)	37	26,5 — ?	id.
Masséna (Tissot)	48	26,5 — ?	id.
Phare de Portzic (Tissot).	61	26,5 — 31	id.
Dupuy-de-Lôme (Tissot) .	72,200	26,5 — 27	id.
Ouessant-Stiff (Tissot). .	83	34 — ?	id.

Le succès qui a suivi les divers essais de télégraphie sans fil par oscillations électriques a engagé à établir des services réguliers de communications télégraphiques entre divers points, qu'il était plus commode et plus économique de relier, en utilisant des dispositifs du genre de ceux que nous avons décrits.

Nous indiquons, ci-après, les stations pourvues, à

l'heure actuelle, à notre connaissance, d'un service régulier de communications par ondes hertziennes.

Localités desservies.	Distance.	
Port de Cuxhaven. — Ile de Helgoland	62 km	
Ile de Borkum (Allemagne). — Bateau phare	39	(antennes de 38 m).
Douvres. — Ostende	118	
Ile de la Trinité. — Tobago.	32	
Ile de Hogland (Finlande). — Kotka .	47	(antennes de 48 m).

La syntonisation dans la télégraphie sans fil. — Nous avons indiqué en quoi consistait le problème de la syntonisation en relatant des expériences faites à Wimereux par M. Marconi (voir p. 123).

En dehors des procédés préconisés par M. Marconi pour réaliser une transmission sélective entre deux stations, et basés sur l'emploi du *jigger*, d'autres procédés ont été proposés.

Dispositif de MM. Lodge et Muirhead. — C'est ainsi que dans un brevet pris en 1897, MM. Lodge et Muirhead proposaient de réaliser la syntonisation entre un transmetteur et un récepteur en les constituant par deux systèmes de conducteurs le plus identiques possible. Comme appareil producteur d'ondes, ils utilisent un excitateur de M. Righi. Comme récepteur ils emploient le résonateur à coupure (voir p. 18) et placent un cohéreur attelé à un condensateur entre les extrémités de la coupure.

Les renseignements font défaut relativement aux essais entrepris avec ce système. Si l'on se reporte d'autre part à des expériences faites par M. Tietz, il semble que les dispositifs de MM. Lodge et Muirhead ne soient pas susceptibles d'assurer d'une manière complète la sélection des signaux entre un transmetteur et un récepteur accordés.

Dispositif de M. Tommasi. — M. D. Tommasi [1] a indiqué un moyen d'empêcher l'interception des dépêches entre deux postes de télégraphie sans fil. Bien que ce dispositif ne réalise pas à proprement parler une syntonisation entre le transmetteur et le récepteur nous croyons devoir l'indiquer ici. Il consiste à disposer au poste de transmission deux excitateurs dont l'un envoie des signaux qui ne sont pas susceptibles d'être reçus par le poste de réception, mais qui atteindraient un poste situé à une distance légèrement inférieure. Il suffit pour cela de diminuer un peu la longueur de l'étincelle de ce second excitateur et de la rendre un peu moins longue que celle de celui destiné à émettre les signaux télégraphiques.

Dans ces conditions il ne sera possible de recueillir les signaux de l'excitateur qui est destiné à l'émission télégraphique qu'en dehors de la zone d'action du second excitateur.

Dans cette zone on ne pourra recueillir qu'une confusion de signaux due à la transmission parasite effectuée par l'excitateur de moindre portée.

Toutefois, il serait possible d'intercepter la transmission en se plaçant en un quelconque des points de la circonférence qui a pour rayon la distance des deux postes, et, si l'on dispose d'un cohéreur très sensible, en se plaçant à une distance supérieure. Le dispositif de M. Tommasi ne nous paraît donc répondre que d'une manière bien imparfaite au but qu'il se propose d'atteindre.

Dispositif de M. P. Jègou. — Une disposition ayant également pour but de localiser la réception des signaux a été indiquée par M. P. Jégou [2]. Le dispositif est basé

(1) D. Tommasi. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 14 mai 1900.)

(2) P. Jégou. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 26 novembre 1900.)

sur le fait que la zone d'action d'un transmetteur donné est d'autant plus étendue que les antennes des postes de transmission et de réception sont plus élevées.

Le dispositif récepteur utilise deux cohéreurs au lieu d'un seul. — Une bobine, sorte de transformateur, comporte trois enroulements : deux de ces enroulements sont identiques, mais de sens différents, ils sont réunis chacun à l'un des cohéreurs : le troisième enroulement, formé d'un fil plus fin, est relié au relais utilisé. — Si les cohéreurs sont impressionnés tous deux par une émission d'ondes, les courants, de même intensité, qu'ils laissent passer (en sens contraire dans les deux enroulements primaires identiques de la bobine), ne déterminent aucune induction dans le troisième enroulement et le relais reste au repos. — Si, au contraire, un seul cohéreur devient sensible aux ondes émises, un seul des enroulements primaires est parcouru par un courant : une action inductrice est donc produite dans le troisième enroulement et le relais se trouve actionné.

Ainsi donc, le relais est actionné lorsqu'un seul cohéreur devient sensible aux ondes électriques ; il reste au repos si les cohéreurs sont tous deux impressionnés.

Supposons qu'on veuille, d'un poste transmetteur T, actionner un poste R, situé à une certaine distance de T, sans qu'un poste intermédiaire I puisse intercepter les communications. — On munit chaque poste I et R de deux antennes de hauteurs différentes *h* et H ; chaque antenne est mise en relation avec chacun des cohéreurs associés aux organes de réception. Si le transmetteur T émet à l'aide d'une antenne de hauteur convenable des ondes susceptibles d'atteindre sans le dépasser le poste R, il arrive que le cortège d'ondes qui atteint R n'est reçu que par une seule des antennes de ce poste, la plus élevée, H ; l'antenne *h* n'étant pas assez haute pour recevoir les ondes émises de T. Un seul cohéreur devient

donc sensible aux ondes en R et le récepteur est actionné.

Quant au poste intermédiaire I, la distance qui le sépare de T est telle qu'au passage, les ondes destinées à R sont reçues par les deux antennes dont ce poste I est muni. En I les deux cohéreurs sont donc simultanément impressionnés et, par suite même des enroulements différentiels de la bobine à laquelle ils sont reliés, le récepteur de I n'est pas actionné.

Quand on désire communiquer de T avec I, on utilise pour émettre les ondes une antenne de hauteur moindre que celle précédemment employée. Les ondes émises ne sont alors susceptibles d'atteindre utilement que la plus grande des antennes de I. Quant aux antennes de R, ni l'une ni l'autre ne reçoit les ondes émises par T.

Ce dispositif, plus compliqué que celui préconisé par M. Tommasi, n'empêche, pas plus que ce dernier, tout poste situé à la même distance de T que R, de recevoir les signaux destinés à R. Il présente même une infériorité sur celui de M. Tommasi, car on peut toujours, en employant un seul cohéreur et une antenne de hauteur convenable, intercepter la transmission destinée à R. — Tout au plus ce dispositif peut-il servir à localiser les transmissions et empêcher d'actionner inutilement le poste I par des signaux destinés au poste R. Il est toujours possible à l'employé du poste I de surprendre la transmission destinée à R ; il lui suffit pour cela de rompre le circuit de l'un des cohéreurs dont ce poste est muni.

Dispositif de M. A. Blondel. — M. A. Blondel [1] préconise entre les deux appareils, transmetteur et récepteur, l'emploi d'un procédé de synchronisation sus-

---

(1) A. Blondel. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 21 mai 1900.)

ceptible de réaliser entre eux une véritable syntonisation.

Ce procédé consiste à accorder ensemble non plus les fréquences des oscillations électriques propres du transmetteur et du récepteur mais deux fréquences artificielles beaucoup plus basses qui d'ailleurs dépendent des premières : la fréquence des charges de l'antenne d'émission et la fréquence des vibrations de la plaque d'un téléphone.

On emploie à cet effet comme relais un téléphone et de préférence un téléphone sélectif tel que les monotéléphones de M. Mercadier.

Le téléphone rend un son à chaque signal émis par la station génératrice et la hauteur de ce son est déterminée par les charges de l'antenne génératrice d'une manière analogue à celle que nous avons indiquée plus haut (voir p. 20) à propos du fonctionnement du téléphone sous l'influence des ondes électriques.

M. Blondel espère ainsi pouvoir différentier très aisément diverses stations d'émission, et même, en employant des téléphones spéciaux qui ne répondent qu'à un son donné, pouvoir réaliser des récepteurs sélectifs. Il pense même qu'il n'y a aucune difficulté à appliquer au poste récepteur les dispositifs si ingénieux de télégraphie multiple de M. Mercadier.

Bien qu'à l'heure actuelle les renseignements fassent défaut relativement aux expériences réalisées avec ce dispositif, il paraît bien apte à résoudre le problème de la syntonisation en télégraphie sans fil.

Quant à la réalisation de la télégraphie multiple entre les postes de télégraphes sans fil, elle paraît bien peu probable encore, étant donné la grande différence de précision que l'on peut atteindre dans le réglage des dispositifs du genre de ceux utilisés par M. Mercadier d'une part, et dans le réglage de ceux qui empruntent l'usage du cohéreur.

Importance du problème de la télégraphie dite sans fil. — Les expériences précédentes autorisent-elles à considérer comme résolu le problème général de la télégraphie sans fil ? En admettant l'affirmative, peut-on, pénétrant dans le domaine des espoirs, prévoir qu'un jour plus ou moins proche, des systèmes dérivés de ceux employés actuellement permettront la distribution à toute distance de centaines de kilowatts et cela *sans un seul fil conducteur* ? ou bien, à juste titre plus modestes et par là même plus utiles ces expériences peuvent-elles marquer la solution pratique et définitive de l'important problème de la communication sans fil à petite distance ? problème si important à résoudre par les multiples applications utiles qu'il comporte :

Communications entre les bateaux-phares et la côte ;

Communications entre les navires qui se rapprochent ;

Communications entre les convois qui se croisent si nombreux aujourd'hui sur les lignes ferrées ; etc., etc.

Nous croyons que c'est ce problème des communications à petite distance qui peut être considéré comme pratiquement résolu par les expériences de M. Marconi et de ses émules : en particulier par celles de M. Tissot.

C'est ainsi qu'on a pu faire communiquer en Angleterre le bateau-feu E.-S. Goodwing placé à une distance de 19 km de South Foreland avec la côte. Un service régulier de communications télégraphiques sans fil existe entre ces deux stations. On a pu proposer également de faire communiquer avec la côte les bateaux effectuant de courts trajets, comme ceux reliant Dieppe et New-Haven, Calais et Douvres, Douvres et Ostende. Les expériences réalisées entre Douvres et Wimereux, permettent d'espérer, que, durant tout le temps de leur traversée, ces navires pourraient rester en communication avec l'un ou l'autre des deux ports qu'ils desservent.

De même un semblable télégraphe peut desservir deux

villes séparées par un étroit bras de mer comme le sont au sud de l'Italie Reggio et Messine. On peut également espérer réaliser le projet formé consistant à relier l'île de Sumatra et Madras au moyen de postes intermédiaires disposés dans les îles du golfe de Bengale, échelonnés entre ces deux stations. La plus grande distance à franchir n'excéderait pas 92 km, et les dispositifs de M. Marconi, ainsi que ceux de M. Tissot, permettront sans doute avec de très légers perfectionnements de franchir cette distance.

Ces dispositifs pourraient également être utilement employés à avertir les navires qui longent les parages dangereux des côtes des dangers qu'ils peuvent courir. En temps de brume, en effet, les phares sont très souvent inaperçus des marins. M. A.-F. Hamilton a proposé d'établir des bouées avec transmetteur d'ondes hertziennes qui enverraient des signaux susceptibles d'être perçus à quelques milles par les bâtiments porteurs de récepteurs Marconi. M. Hamilton proposait de protéger ainsi les abords du port d'Halifax, port très difficile à approcher par temps brumeux. D'une manière générale les parages dangereux des côtes pourraient être munis de postes Marconi de puissance suffisante pour couvrir une zone déterminée. Les zones de chaque poste n'empiétant pas les unes sur les autres et chacun des postes émettant un signal particulier, il serait possible à un navire muni d'un récepteur Marconi d'être tenu au courant de sa situation exacte aux abords des parages dangereux.

Enfin comme l'ont proposé MM. Berget et Décombe, M. Branly, les dispositifs de télégraphie sans fil pourraient servir à prévenir les collisions en mer.

Mais quels que soient les perfectionnements qu'on apporte aux dispositifs actuels il paraît impossible de transformer les procédés de communication à petite dis-

tance sans fil en procédés méritant le nom de télégraphie, sans fil au sens strict du mot.

Lorsqu'on prononce aujourd'hui le mot de télégraphie, l'esprit se reporte aussitôt à cette merveilleuse application de l'électricité qui permet à toute heure le transport de la pensée d'une rive à l'autre des océans. Bien des gens s'imaginent à tort que les expériences de M. Marconi sont le prélude d'un nouvelle télégraphie et que les essais faits sur de petites distances vont bientôt permettre l'échange de télégrammes entre Brest et New-York, San Francisco et Yokohama sans l'interposition d'aucun conducteur.

Plus modestes avaient été nos devanciers qui le jour où ils rendaient pratiques sur des distances de 80 km la télégraphie optique ne l'avaient pas pour cela pompeusement décorée du nom de télégraphie sans fil.

Non seulement on peut être amené à croire par l'emploi impropre des mots « télégraphie sans fil » que la suppression de tous les conducteurs télégraphiques n'est plus qu'une question de temps, de perfectionnements plus ou moins heureux, plus ou moins prochains, mais il s'est même trouvé des ingénieurs qui se sont illusionnés au point de décrire des dispositifs qu'ils supposent aptes à permettre la télégraphie et la téléphonie sans fil entre l'Amérique et l'Europe, au moyen de relais convenablement placés.

« Pourquoi, écrit avec assurance M. Guarini Foresio au cours de la description d'un brevet, du sommet de la tour de New-York, n'envoie-t-on pas un faisceau de rayons à une tour ou à une montagne des îles Bermudes d'où il sera ramené aux îles Açores et de là en Portugal, d'où il sera ramené en Espagne et de là à la tour Eiffel, à Paris, et de là à Londres, en plaçant, *le cas échéant*, des répétiteurs à ces stations intermédiaires ? »

En se servant des nombres mêmes calculés par M. Gua-

rini Foresio les altitudes à donner aux antennes des postes intermédiaires varient entre 4 000 et 18 000 m.

En admettant même, ce qui est douteux, qu'il y ait économie à construire des sémaphores aussi élevés, au lieu d'établir des câbles sous-marins, deux raisons principales s'opposent à ce que la télégraphie sans fil par ondes hertziennes puisse s'effectuer entre des stations aussi éloignées.

La première est la difficulté qu'on éprouve à obtenir un faisceau de rayons électriques qui demeure bien cylindrique, qui ne s'épanouisse pas en faisceau conique. Dès lors la puissance du transmetteur doit augmenter en raison directe du carré de la distance à atteindre, et l'on se trouve obligé de supposer l'établissement de véritables usines électriques pour donner aux oscillateurs une puissance capable de porter utilement leur action à d'aussi grandes distances. Ne sait-on pas déjà que quelles que soient les précautions que l'on prend pour maintenir à grande distance en un faisceau parallèle l'émission d'une source lumineuse ou sonore, le faisceau ne cesse pas d'être conique ? Il en sera sans nul doute de même des oscillations électriques qui se rapprochent des ondes sonores par les grandes longueurs d'onde qu'elles présentent et qui sont parentes des ondes lumineuses par la période du mouvement vibratoire qu'elles propagent.

Or, les ondulations lumineuses hypothétiques sont de l'ordre du millième de millimètre et cependant les miroirs et les lentilles qui les concentrent n'arrivent pas à en assurer le parallélisme passé 50 ou 60 km. Quelles difficultés n'éprouvera-t-on pas à concentrer les ondulations électriques qui affectent en moyenne de 50 à 60 cm de longueur ?

La seconde raison pour laquelle les ondes électriques émises par les radiateurs seront incapables d'actionner des récepteurs — fussent-ils encore plus sensibles —

placés à d'aussi grandes distances, est due à l'absorption que les milieux interposés entre les deux appareils, l'air même, ne manqueront pas de produire.

Il en est ainsi pour les ondes lumineuses : malgré tous les perfectionnements qu'on y a apportés, nos phares sont incapables de porter leur lumière à des distances qui sont les moindres de celles que franchissent nos télégraphes.

En résumé, si l'on peut dire que les communications sans fil par ondes hertziennes sont pratiques sur de petites distances, il est téméraire de prétendre qu'elles puissent sans l'aide d'aucun conducteur permettre l'échange de signaux à toute distance quelque grande soit-elle.

L'ingénieuse combinaison de M. Marconi risquerait, en négligeant le domaine des applications vraiment pratiques, qu'elle peut à juste titre revendiquer comme sien, en prétendant s'appliquer à la télégraphie à toute distance, de se heurter à des insuccès certains.

CHAPITRE IV

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A LA TÉLÉGRAPHIE
(*Suite.*)

TÉLÉGRAPHIE AVEC CONDUCTEUR

Si les ondes électriques ne sont pas susceptibles d'être utilisées pour les communications à toute distance sans conducteur interposé, il ne s'ensuit pas qu'elles ne puissent être utilement employées dans la télégraphie courante.

Que l'on réunisse par un fil conducteur les antennes de deux postes qui échangent des signaux avec les dispositifs de M. Marconi, et l'on peut dès lors éloigner ces deux postes et les placer à des distances comparables à celles qui séparent actuellement les postes télégraphiques ordinaires.

Si les ondes électriques ne devaient être ainsi appelées qu'à permettre l'échange de signaux entre les postes télégraphiques au moyen d'un fil de jonction à la manière dont les dispositifs télégraphiques usuels en assurent la transmission, il n'y aurait aucun avantage à remplacer les appareils, souvent très simples, employés dans la télégraphie courante, par les excitateurs et les résonateurs que nécessite l'usage des oscillations électriques.

Mais l'utilisation des ondes électriques peut plus que faire double emploi avec les dispositifs usuels de télégraphie par courant continu. Non seulement leur emploi

permet de résoudre les différents problèmes dont la télégraphie par courant continu a déjà indiqué la solution, et cela en mettant souvent en œuvre des dispositifs plus simples, mais encore cette utilisation des ondes électriques permet de réaliser des desiderata de la télégraphie ordinaire laissés jusqu'à ce jour sans réponse.

Avant d'indiquer comment les ondes électriques peuvent être ainsi utilisées, nous rappellerons l'énoncé de divers problèmes de télégraphie, ainsi que les avantages et les inconvénients des solutions proposées. Nous présenterons ensuite les principes sur lesquels repose l'emploi des ondes électriques à la télégraphie avec conducteur.

Nous indiquerons alors par quels dispositifs les oscillations électriques permettent de résoudre les divers problèmes de télégraphie énoncés.

ÉNONCÉS DE QUELQUES PROBLÈMES DE TÉLÉGRAPHIE

Transmission duplex. — Le problème de la transmission duplex consiste à envoyer deux télégrammes à la fois par un même fil en sens inverse. — Un fil unique AB relie deux stations A et B, il s'agit de permettre simultanément la transmission de A vers B ainsi que celle de B vers A.

Indépendamment des deux méthodes classiques utilisées pour résoudre ce problème dans la télégraphie par courants continus, la méthode différentielle et la méthode du pont de Wheatstone, un grand nombre de méthodes particulières ont été indiquées (Mance, Edison, Vianisi, Muirhead, Ailhaud, etc...).

Toutes ces méthodes nécessitent l'installation d'une ligne factice équivalente à la ligne réelle en ce qui concerne la capacité et la résistance. La construction de cette ligne factice est parfois assez coûteuse, par exemple lors-

qu'il s'agit de transmettre en duplex au moyen d'un câble sous-marin ou sous-terrestre. On ne peut alors songer à équilibrer la capacité du câble par l'emploi d'un seul condensateur de même capacité. Il faut, pour poursuivre l'assimilation du câble et de la ligne artificielle, constituer toute une série de résistances et de capacités de manière à faire, pour chaque élément de la ligne factice, une reproduction aussi exacte que possible de la capacité et de la résistance de l'élément correspondant du câble.

De plus, ces méthodes ne permettent pas en général de transmettre de A vers B avec un appareil télégraphique donné, un appareil imprimeur de Hughes par exemple, alors que pour la transmission de B vers A on emploie un appareil différent du premier, un appareil Morse.

Transmission diplex. — C'est encore la mise en activité simultanée de deux appareils télégraphiques sur le même fil que se proposent les systèmes de transmission diplex. Mais au lieu de permettre l'échange simultané de signaux entre deux postes A et B réunis par un fil unique, on réalise avec ces systèmes l'envoi simultané de deux télégrammes de A vers B.

Lorsque deux manipulateurs peuvent être ainsi actionnés simultanément, il existe quatre combinaisons différentes des positions respectives de ces manipulateurs. Les deux manipulateurs de A sont tous les deux au repos, ou bien l'un, m, est au repos alors que le second, m', est actionné ou bien encore l'inverse a lieu, m est actionné et m' est au repos, ou enfin les manipulateurs sont tous les deux actionnés.

Dans la plupart des systèmes diplex usités dans la télégraphie courante ces quatre combinaisons possibles ont pour effet de mettre la ligne A B en communication soit avec le pôle négatif, soit avec le pôle positif d'une pile à

petit nombre d'éléments, soit encore avec le pôle positif ou bien avec le pôle négatif d'une pile à grand nombre d'éléments. Ces courants positifs ou négatifs, faibles ou forts, traversent deux relais polarisés, convenablement disposés dont ils actionnent soit l'un, soit l'autre, soit tous les deux ensemble. Ces relais commandent deux récepteurs qui sont ou non actionnés suivant les courants émis sur la ligne et la transmission diplex est ainsi assurée.

Transmission quadruplex. — Quel que soit le dispositif employé pour la transmission diplex on peut combiner ce dispositif avec un système de transmission duplex assuré, soit par la méthode différentielle, soit par la méthode du pont de Wheatstone. On réalise ainsi l'émission simultanée de deux télégrammes de A vers B en même temps que celle de deux autres télégrammes transmis de B vers A. On désigne sous le nom de transmission quadruplex une semblable transmission.

De même que la transmission duplex, la transmission quadruplex nécessite l'établissement d'une ligne factice plus ou moins coûteuse.

Transmission multiplex. — Multicommunication. — Un système de transmission multiplex est un système qui permet de transmettre simultanément plusieurs télégrammes dans un même sens, de A vers B par exemple, par un fil unique.

On peut se proposer également en utilisant un fil unique A B de permettre la transmission simultanée de plusieurs télégrammes de A vers B en même temps que celle d'un même nombre de télégrammes émis de B vers A ; on réalise alors ce que nous nommerons un dispositif multicommunicateur.

Le problème de la multicommunication télégraphique

peut être rendu encore plus général. L'énoncé le plus complet qu'on en peut donner est le suivant :

Un fil conducteur unique relie deux lieux déterminés A et N et passe par une série d'autres lieux B, C, D..... L. Trouver un dispositif qui permette l'échange de communications télégraphiques simultanées (communications pouvant être assurées au moyen d'appareils télégraphiques divers, Morse, Hughes,.....) entre A et B, A et C,..... A et N et aussi entre B et C, B et D,..... B et N, et ainsi de suite jusqu'à la communication entre L et N ; en un mot entre tous les groupes que l'on peut former en combinant deux à deux de toutes les manières possibles les postes que relie le fil unique.

Si ce problème, envisagé d'une manière aussi générale, n'a pas été résolu d'une façon complète, des cas particuliers en ont été étudiés et leur mise en pratique a été suivie de succès.

Deux sortes de solutions ont été proposées. L'une d'elles qui ne réalise pas à proprement parler des transmissions simultanées a reçu le nom de télégraphie multiple. L'autre solution est connue sous le nom de télégraphie multiplex.

Télégraphie multiple. — Dans les divers télégraphes multiples soit à signaux conventionnels (Meyer, Delany), soit imprimeurs (Baudot, Munier, Dom) on utilise l'intervalle de temps qui sépare l'envoi de deux signaux consécutifs par un même appareil pour mettre la ligne en communication avec toute une série d'autres appareils.

A cet effet la ligne AN relie les axes de deux balais conducteurs qui tournent d'un mouvement synchrone et rencontrent une série de secteurs conducteurs régulièrement distribués le long de la circonférence que les balais décrivent.

Nous supposerons ces secteurs au nombre de six pour

fixer les idées et nous nommerons ceux disposés en A, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, et ceux en N, n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6.

En A on réunit aux trois secteurs a_1, a_3, a_5, trois récepteurs et aux trois secteurs a_2, a_4, a_6, trois manipulateurs. Au contraire en N ce sont les secteurs pairs n_2, n_4, n_6 qui sont réunis à trois récepteurs et les secteurs impairs n_1, n_3, n_5 qui communiquent avec trois manipulateurs. Si de part et d'autre, en A et en N, les deux balais sont animés de mouvements de rotation exactement synchrones et qu'ils frottent au même instant deux secteurs affectés du même numéro d'ordre, les trois manipulateurs de la station A seront une fois par tour mis en communication avec les trois récepteurs de la station N qui leur correspondent et il en sera de même pour les manipulateurs de N qui seront réunis aux récepteurs de A chacun une fois par tour.

Ces deux organes qui mettent ainsi en communication au même instant un manipulateur d'une station avec un récepteur de l'autre, qui par suite distribuent successivement la ligne aux divers appareils télégraphiques accouplés ont reçu le nom de *distributeurs*.

Si les signaux qui émanent de chaque manipulateur sont émis au moment propice, on conçoit que, grâce au synchronisme des distributeurs, les six groupes d'appareils associés puissent échanger des signaux.

Bien que six télégrammes puissent ainsi être simultanément échangés entre A et N, il n'y a pas, à vrai dire, communications simultanées entre les divers appareils qui les échangent. Les deux distributeurs ont simplement permis de rapprocher les communications successives entre les divers manipulateurs et récepteurs reliés par une même ligne.

On peut encore à l'aide de distributeurs faire communiquer entre eux et avec A et N des postes échelonnés sur la ligne AN. C'est ainsi que l'emploi de distributeurs

à quatre secteurs permet les communications avec trois postes échelonnés A, B, N comme l'indique le schéma de la figure 91. Le poste intermédiaire B possède deux distributeurs dont les balais *b*, *b* sont disposés sur le même

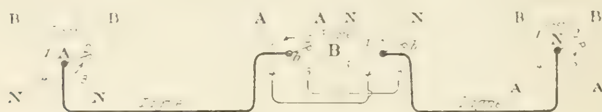


Fig. 91. — Schéma de communication entre trois postes échelonnés A, B, N, à l'aide de distributeurs.

axe. La position des balais *b* dans la figure 91 correspond à la communication du poste A avec le poste B et du poste B avec le poste N.

Dans la pratique on ne peut guère utiliser la télégraphie multiple avec plus de trois postes échelonnés.

Télégraphie multiplex. — La télégraphie multiplex qui permet la communication réellement simultanée de plusieurs appareils par un même fil, repose sur une remarquable expérience signalée à l'Académie des Sciences en 1860 par l'abbé Laborde. Cette expérience consiste à envoyer sur un même fil une série de courants intermittents de régimes différents qui sont émis par l'intermédiaire de diapasons de longueurs différentes. A l'arrivée du fil ces courants parcourent les enroulements d'un nombre d'électro-aimants égal au nombre des diapasons, et chaque électro-aimant agit sur une lame vibrante. Chacune des lames se trouve d'ailleurs accordée avec l'un des diapasons. Dans ces conditions on constate que les courants intermittents envoyés par un des diapasons n'agissent que sur la lame en accord avec ce diapason. Cette lame entre seule en vibration à l'exclusion de toutes les autres.

C'est sur ce principe que Paul Lacour de Copenhague réalisa plus tard, en 1873, un télégraphe multiplex. Les

différents courants intermittents produits par des diapasons à la station de départ cheminaient ensemble et venaient impressionner à la station d'arrivée, au moyen d'électro-aimants, une série de diapasons qui étaient des copies exactes de ceux disposés au départ. Le triage des transmissions se trouvait ainsi assuré, les diapasons communiquant entre eux par couple et indépendamment les uns des autres.

Paul Lacour a fait un assez grand nombre d'expériences de télégraphie multiplex au cours desquelles il a utilisé plusieurs dispositifs d'électro-diapasons.

Tout récemment M. Mercadier a repris l'idée de l'abbé Laborde et il a réalisé des dispositifs qui lui ont permis à l'aide de douze électro-diapasons placés à la station de départ et de plaques vibrantes fonctionnant à l'unisson, disposées à la station d'arrivée, de transmettre simultanément douze télégrammes.

En utilisant un relais spécial, M. Mercadier a pu, sur des circuits où le téléphone peut fonctionner, échanger simultanément cinq télégrammes entre deux postes distants de 800 km (Paris-Pau). Au lieu de dix employés on aurait pu en utiliser jusqu'à 24 et permettre la transmission simultanée tant dans un sens que dans l'autre de douze télégrammes. Au cours de ces expériences récentes M. Mercadier a pu échelonner entre les postes extrêmes des postes intermédiaires et réaliser l'échange simultané de télégrammes entre ces divers postes associés deux à deux.

Il semble donc que les dispositifs de M. Mercadier résolvent dans toute sa généralité le problème de la multicommunication tel que nous l'avons énoncé précédemment.

Il est à remarquer toutefois que les télégrammes ainsi échangés sont forcément transcrits en signaux conventionnels Morse, et cela sans qu'il reste de traces permettant un contrôle. Il semble difficile d'utiliser de semblables dispositifs, fondés sur l'emploi de mouvements

sonores, à l'entretien simultané sur une même ligne d'appareils télégraphiques absolument quelconques et en particulier d'appareils imprimeurs.

Téléphonie et télégraphie simultanées. — Ce problème consiste à utiliser les circuits téléphoniques à la transmission télégraphique sans que l'une des transmissions apporte de gêne à l'autre.

Le premier système de télégraphie et de téléphonie simultanées est dû à M. Van Rysselberghe. Ce système peut être appliqué soit à une ligne téléphonique à fil unique, soit à une ligne téléphonique à double fil. On rencontre certaines difficultés à appliquer ce système quand il s'agit d'utiliser des appareils télégraphiques rapides.

M. Cailho, puis M. Maiche et M. Picard ont indiqué des systèmes de télégraphie et téléphonie simultanées qui, par l'emploi convenable de bobines de faible résistance et de forte self-induction, permettent l'échange de transmissions télégraphiques avec les appareils les plus rapides.

Multiplex et multicommunicateur téléphonique. — On peut enfin se proposer en ce qui concerne la téléphonie un problème en tout point semblable à celui énoncé pour la télégraphie, le problème de la multicommunication téléphonique.

Si l'on parvient à assurer la communication simultanée entre plusieurs appareils téléphoniques disposés aux deux extrémités d'une ligne unique, on aura réalisé ce qu'on pourra appeler un téléphone multiplex.

Si de plus on permet aux transmissions téléphoniques d'être échangées simultanément entre une suite de postes échelonnés sur un même fil, on aura réalisé un multicommunicateur téléphonique.

PRINCIPES SUR LESQUELS REPOSE L'EMPLOI DES ONDES ÉLECTRIQUES A LA TÉLÉGRAPHIE AVEC CONDUCTEUR

La plupart des problèmes dont nous venons de passer en revue les énoncés peuvent être résolus par l'emploi des oscillations électriques.

L'utilisation des ondes électriques à ces problèmes procède des principes que nous allons exposer.

Champ ordinaire à deux fils de Hertz et champ interférent. — Nous avons indiqué (ch. I) comment on peut concentrer le champ hertzien fourni par un excitateur au moyen de deux fils parallèles tendus à partir de deux plaques respectivement voisines des deux plateaux de l'excitateur. Un résonateur de Hertz, dont le plan est maintenu perpendiculaire à la direction des fils et qui est graduellement éloigné de l'excitateur, manifeste des alternatives de fonctionnement et d'extinction en des régions fixes et bien déterminées que l'on nomme sections ventrales et nodales (voir p. 8). Le champ d'oscillations ainsi obtenu constitue ce que l'on nomme le *champ ordinaire* à deux fils de Hertz.

On peut se demander quel rôle chacun des deux fils constituant ce champ joue dans la formation du champ ordinaire de Hertz.

Il suffit pour s'en rendre compte de déplacer comme précédemment un résonateur dans le champ obtenu en supprimant un des fils de concentration. Il faut avoir bien soin, dans ce déplacement, de conserver la même situation respective du fil unique de concentration et du résonateur que dans le champ à deux fils.

On constate ainsi que *le champ à un fil et le champ ordinaire à deux fils présentent le même système de sections nodales et ventrales.*

Supposons que les deux plateaux A et B de l'excitateur

soient disposés parallèlement, aussi éloignés que possible, et flanqués chacun de deux plaques métalliques, indépendantes, parallèles au plateau d'excitateur dont elles concentrent les effets et dont elles sont d'ailleurs le plus rapprochées possible (fig. 92).

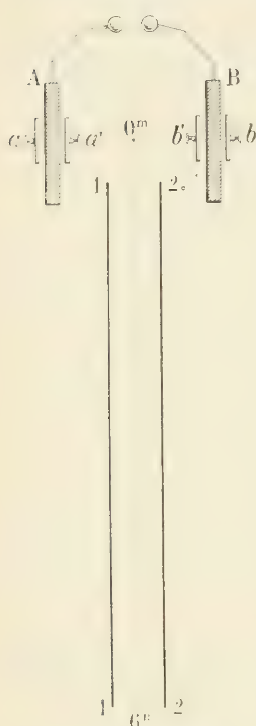


Fig. 92. — Champ ordinaire de Hertz et champ interférent.

Si l'on joint le fil 1 à l'une quelconque des plaques a, a' voisines de A et le fil 2 à l'une quelconque des plaques b, b', voisines de B, on constitue un champ ordinaire de Hertz à deux fils.

Si l'on joint les deux fils à deux plaques voisines du même plateau excitateur (fil 1 et plaque a, fil 2 et plaque a', ou encore fil 1 et plaque b, fil 2 et plaque b'), le résonateur déplacé le long des deux fils ne décèle plus aucun système de ventres et de nœuds. Il y a *interférence* tout le long du champ. Alors que dans le cas du champ ordinaire à deux fils, l'un des fils ajoute son effet sur le résonateur à l'effet produit par l'autre fil, dans le cas actuel l'action de l'un des fils sur le résonateur s'oppose à l'action de l'autre fil et la contre-balance exactement.

Pour distinguer le champ à deux fils ainsi obtenu du champ ordinaire à deux fils de Hertz, nous lui donnerons le nom de *champ interférent* [1].

---

[1] A. Turpain, *Recherches expérimentales sur les oscillations électriques*, p. 58. Paris, A. Hermann, 1899.

Ces expériences qui sont des plus faciles à réaliser s'expliquent très simplement par de seules raisons de symétrie. Il est naturel d'admettre que les deux sections ventrales consécutives qui s'étagent le long d'un fil unique sont au même instant dans des états électriques différents ; et, par analogie avec l'état que présente un tuyau sonore en activité on indiquera cette différence entre deux ventres consécutifs en les affectant d'un signe. De

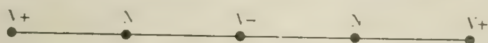


Fig. 93. — Schéma représentatif du champ hertzien concentré par un fil unique.

telle sorte que l'état électrique présenté par un fil unique concentrant le champ hertzien sera représenté par le schéma de la figure 93.

Le champ ordinaire à deux fils sera représenté par le

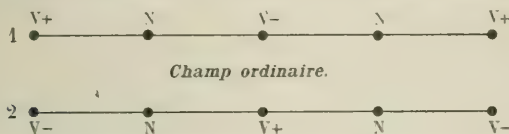


Fig. 94. — Schéma représentatif du champ ordinaire à deux fils.

schéma de la figure 94. Le champ interférent sera représentée par le schéma de la figure 95.

Ces modes de représentation étant admis, on conçoit aisément, sans qu'il y ait lieu d'insister, par quels

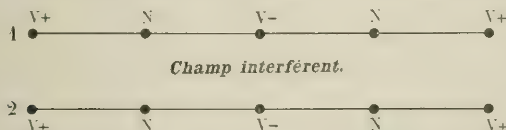


Fig. 95. — Schéma représentatif du champ interférent.

raisonnements, basés sur de simples raisons de symétrie, on pourra prévoir les phénomènes que présentent ces divers champs lorsqu'on y déplace un résonateur.

Transformation d'un champ ordinaire en champ interférent et transformation réciproque. — On peut

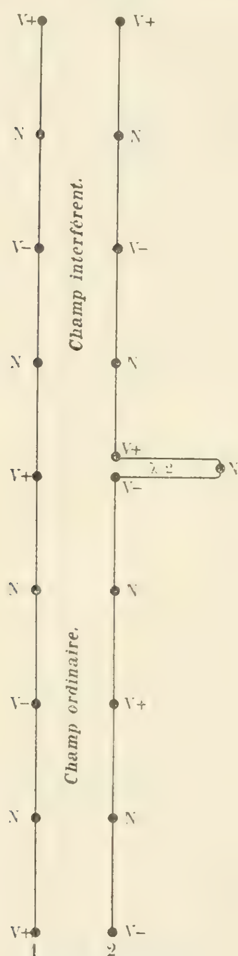


Fig. 96. — Transformation du champ ordinaire en champ interférent.

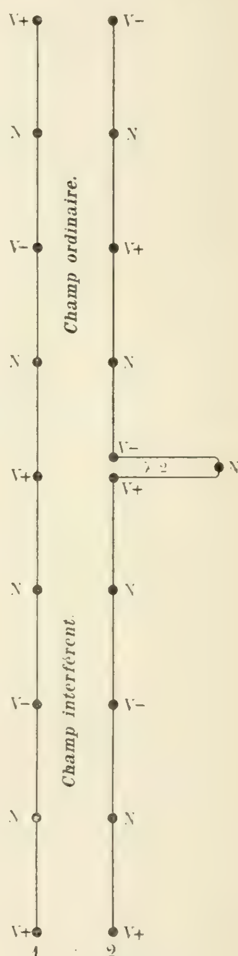


Fig. 97. — Transformation du champ interférent en champ ordinaire.

très aisément transformer un champ ordinaire à deux fils en champ interférent à deux fils et réciproquement

sans toucher aux communications des fils avec les plaques de concentration *a*, *a'*, *b*, *b'*.

Il suffit pour cela d'intercaler dans une coupure (fig. 96 et 97), pratiquée sur l'un des fils, une longueur additionnelle de fil égale à la demi-longueur d'onde des oscillations qui excitent le résonateur servant à l'investigation du champ. Par cet artifice on fait pour ainsi dire avancer d'une demi-longueur d'onde les concamérations qui s'étagent à partir de la coupure.

Le champ est-il *ordinaire* entre l'excitateur et la longueur additionnelle de fil (fig. 96), il sera *interférent* à partir de la longueur additionnelle. Inversement, par le même procédé, un champ *interférent* avant la longueur additionnelle de fil (fig. 97) sera *ordinaire* à partir de la longueur additionnelle.

On peut d'ailleurs transformer à volonté ces champs à deux fils, mi-partie interférents et mi-partie ordinaires, en champs soit ordinaires tout le long des fils, soit interférents tout le long des fils. Il suffit pour cela de supprimer la longueur additionelle de fil intercalée à l'aide d'un pont métallique qui en réunit les deux extrémités.

Ce pont supposé établi dans la figure 96 rendra le champ ordinaire d'un bout à l'autre des fils. Établi dans la figure 97, il rend le champ interférent tout le long des deux fils.

Utilisation de ces phénomènes pour impressionner à volonté un résonateur placé à distance. — Nous venons de voir qu'un résonateur de Hertz fonctionne en toute section ventrale d'un champ ordinaire et qu'il reste inactif en toute section d'un champ interférent. Donc un résonateur disposé dans le plan perpendiculaire à la direction des fils qui contient leurs extrémités fonctionnera ou restera inactif suivant que le champ constitué par les deux fils sera ordinaire ou interférent.

Il suit de là un moyen des plus simples d'actionner à distance et à volonté un résonateur ainsi disposé. Si, en effet, le pont qui commande la transformation du champ est disposé à l'endroit d'où l'on veut impressionner le résonateur, il suffira, en actionnant ce pont mobile, de supprimer ou d'intercaler la longueur additionnelle de fil qu'il commande, pour agir sur le résonateur.

Si le champ est ordinaire avant la longueur additionnelle, il est interférent entre cette longueur et le résonateur et alors la présence du pont actionne le résonateur.

Si au contraire le champ est interférent avant la longueur additionnelle, il est ordinaire entre cette longueur et le résonateur et c'est par la suppression du pont qu'on actionne le résonateur.

On peut donc dans les deux cas, par la manœuvre convenable du pont, agir à volonté sur le résonateur quelle que soit sa distance.

Mais il n'est pas indispensable pour que l'on puisse ainsi agir à distance sur le résonateur par la manœuvre convenable du pont mobile, que les deux fils qui concentrent le champ soient tendus depuis l'excitateur jusqu'au résonateur.

L'expérience montre qu'il suffit que les fils soient distincts jusqu'à la région où doit s'intercaler la longueur additionnelle de fil. Ils peuvent alors comme le montre

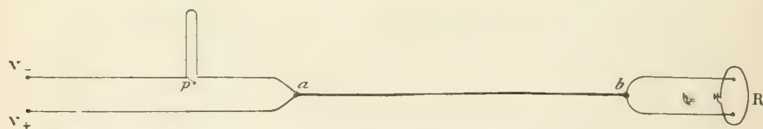


Fig. 98. — Utilisation du champ interférent pour impressionner à volonté un résonateur placé à distance.

la figure 98 être réunis tous deux à partir de ce point a ; un fil unique concentre alors le champ jusqu'au résonateur.

Au voisinage du résonateur, en *b*, ce fil unique se dédouble à nouveau. On donne alors à chacun des deux fils parallèles qui aboutissent au résonateur R une longueur égale à la demi-longueur d'onde des oscillations qui excitent le résonateur employé.

On peut expliquer le fonctionnement du résonateur de la manière suivante.

Lorsque le pont *p* est abaissé, le champ des deux fils qui aboutissent en *a* est un champ ordinaire et le fil unique *ab* concentre et propage ce champ jusqu'au résonateur qui est d'autant plus fortement actionné qu'il se trouve en une section ventrale d'un champ ordinaire à deux fils formé à partir de *b*.

Lorsque le pont *p* est relevé, le champ des deux fils situés entre ce pont et le point *a* est un champ interférent. Aucune propagation d'ondes n'a lieu le long du fil *ab*. Le résonateur placé à l'extrémité des deux fils issus de *b* reste donc inactif ; tout se passe comme si l'excitateur qui produit les ondes cessait de fonctionner.

On peut rapprocher ce phénomène de concentration ou non concentration des ondes par le fil *ab*, suivant la position donnée au pont *p*, d'un phénomène acoustique analogue. Nous voulons faire allusion à l'expérience du tuyau en Y d'Hopkins.

Si l'on communique aux colonnes d'air contenu dans les branches du tube en Y des mouvements sonores empruntés à deux secteurs opposés d'une plaque vibrante qui se partage en quatre secteurs vibrants, le tuyau formé par le pied de l'Y entre en vibration. Au contraire si l'on emprunte le mouvement sonore à deux secteurs voisins aucun son ne se propage dans le tuyau formant le pied de l'Y.

Ce rapprochement d'expériences empruntées à deux domaines différents de la physique n'a d'autre but que de faciliter l'exposé des faits sans rien inférer en ce qui

concerne l'explication des phénomènes électriques qui se produisent.

Fonctionnement d'appareils télégraphiques quelconques au moyen des ondes électriques : résonateur à coupure. — Dès lors qu'il est possible de faire fonctionner à volonté et à distance un résonateur, il devient facile de mettre en activité au moyen des ondes électriques un appareil télégraphique quel qu'il soit. Il suffit de remarquer, en effet, qu'un résonateur à coupure (voir ch. I, p. 18) peut être substitué dans les expériences que nous venons de décrire au résonateur complet que nous supposons placé à l'extrémité libre des fils. Par suite même de la propriété qu'il possède de fonctionner avec la même facilité qu'un résonateur complet et suivant des lois aussi simples que celles qui régissent ce dernier appareil, un résonateur à coupure disposé à l'extrémité des fils fonctionnera ou restera inactif suivant la position donnée au pont qui commande la longueur additionnelle de fil, et cela comme s'il était complet.

Si rien n'est changé quant au fonctionnement du résonateur et quant à l'influence qu'exerce sur ce fonctionnement la disposition du pont mobile, le fait de présenter une coupure rend cet appareil capable d'actionner un récepteur télégraphique.

Supposons, en effet, qu'on mette à profit l'existence de la coupure pour intercaler le résonateur dans le circuit d'une pile locale comprenant l'électro-aimant du récepteur. Lorsque le résonateur ne fonctionne pas, le courant se trouve interrompu par l'intervalle que présente le micromètre du résonateur. Dès que le résonateur fonctionne sous l'influence d'ondes électriques, à la faveur des étincelles qui se produisent au micromètre le circuit de la pile est fermé à travers l'électro-aimant du récepteur qui se trouve actionné.

Ainsi donc chaque fois que le résonateur à coupure est actionné, le récepteur télégraphique qui lui est joint est aussi actionné. Si, d'autre part, on relie d'une manière invariable le pont mobile qui commande le fonctionnement du résonateur au dispositif transmetteur de l'appareil télégraphique que l'on utilise on conçoit comment on peut, grâce au résonateur à coupure, utiliser les ondes électriques à l'entretien d'appareils télégraphiques.

Ces appareils peuvent d'ailleurs être quelconques, rien dans les connexions à établir entre leurs dispositifs manipulateur et récepteur et ceux permettant l'emploi des ondes électriques n'interdisant l'usage de ces appareils, fussent-ils des plus rapides.

Pour que le courant de la pile auxiliaire dont le circuit se ferme par le résonateur à coupure s'établisse chaque fois que le résonateur est actionné par des ondes, et qu'il cesse dès que ces ondes cessent d'être émises, il faut que le courant de la pile ne soit pas capable de franchir l'obstacle que lui offre l'interruption du micromètre lorsque le résonateur est inactif; mais il faut aussi que cette interruption soit telle que la présence d'étincelles dues aux ondes électriques entraîne l'établissement du courant. A cet effet, l'indicateur d'ondes électriques de M. Righi (fig. 99) (voir ch. I, p. 30) employé comme micromètre constitue, une fois réglé, un dispositif des plus sensibles.

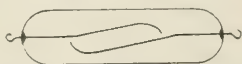


Fig. 99. — Indicateur d'ondes de M. Righi.

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A LA SOLUTION DES PROBLÈMES DE TÉLÉGRAPHIE PRÉCÉDEMMENT ÉNONCÉS

Transmission simple. — *Emploi du résonateur complet.* — Comme nous l'avons déjà indiqué, le problème de la transmission télégraphique avec conducteur se

trouve de suite résolu par l'usage des dispositifs de M. Marconi. Il suffit de relier les antennes par le fil de ligne pour pouvoir éloigner les deux postes en relation à des distances qui soient les mêmes que celles que franchissent les télégraphes ordinaires. On peut, dans ce cas simplifier notablement les dipositifs.

Hertz a montré que si l'on met en relation par un fil conducteur l'une des plaques d'un excitateur en activité avec un point d'un résonateur circulaire qui, avec le micromètre, divise la circonférence du résonateur en deux arcs inégaux, le résonateur fonctionne et de fortes étincelles éclatent au micromètre.

Mettant à profit cette expérience il suffira de commander, au poste de départ, le contact du fil de ligne avec l'excitateur par un manipulateur de Morse et de disposer à l'arrivée un résonateur complet auquel le fil de ligne aboutisse.

On utilise alors à l'arrivée les étincelles de ce résonateur à actionner un cohéreur commandant un récepteur Morse.

Emploi du résonateur à coupure. — Avec le dispositif précédent on ne peut utiliser que l'appareil de Morse. Si l'on emploie un résonateur à coupure, on pourra utiliser un appareil télégraphique quelconque. Le résonateur à coupure peut être employé avec le dispositif précédent, la ligne étant mise, au départ, en communication avec l'excitateur par l'intermédiaire du manipulateur de l'appareil utilisé, et à l'arrivée avec un point convenablement choisi de la circonférence du résonateur à coupure. Le récepteur et une pile locale sont intercalés dans la coupure.

On peut encore employer le résonateur à coupure en le disposant au voisinage de la ligne sans établir de communications entre lui et la ligne. Le fil de ligne est alors utilisé à concentrer un champ hertzien créé au poste de départ par un excitateur.

Ces divers dispositifs ne présentent pas un grand intérêt en eux-mêmes au point de vue pratique.

Ils font, en effet, sans grande simplification, double emploi avec ceux utilisés dans la télégraphie par courants continus. Leur description n'est donnée ici que parce qu'ils peuvent être utilisés à la solution du problème suivant. Leur réalisation présente alors une plus grande simplicité et une plus grande généralité que la solution du même problème par les courants continus.

Transmission duplex par ondes électriques. — *Premier dispositif.* — Supposons établi un dispositif de transmission simple par ondes électriques entre deux postes A et B, A représentant le poste transmetteur et possédant alors un excitateur électrique, et B étant muni d'un résonateur à coupure desservant un récepteur télé-

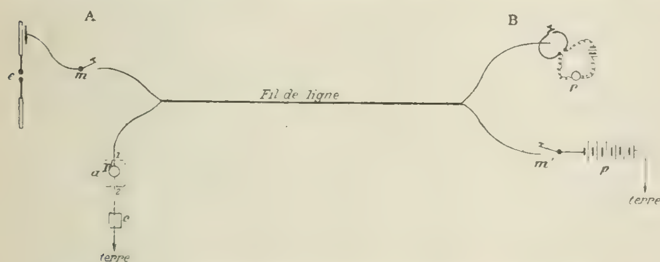


Fig. 100. — Transmission duplex par ondes électriques. Premier dispositif.

graphique *r* d'ailleurs quelconque. Le dispositif que représente la figure 100 est l'un de ceux que nous venons de décrire.

Si alors que la ligne A B permet la transmission par ondes électriques de A vers B, on la fait servir à la transmission par courant continu de B vers A, au moyen d'une pile disposée en B, on aura résolu par l'emploi combiné des ondes électriques et du courant continu le problème de la transmission duplex.

Cette solution est bien plus simple que celles qu'utilise la télégraphie ordinaire, elle ne demande en effet ni dispositif de compensation, ni construction de ligne factice, et les deux phénomènes qu'on utilise, propagation des ondes électriques dans le sens A B d'une part, propagation d'un courant électrique fourni par une pile dans le sens B A, d'autre part, ne sont pas susceptibles, comme le montre l'expérience, d'influer l'un sur l'autre.

Lorsque le manipulateur *m* est abaissé, les ondes électriques se propagent sur la ligne et vont influencer le résonateur à coupure de B. Le récepteur *r* est alors actionné. Les ondes électriques peuvent aussi se propager le long du fil de l'électro-aimant du récepteur *r'* en communication avec la terre. Pour éviter qu'une grande partie du champ ne soit ainsi perdue on intercale entre *r'* et la terre une cuve d'eau *c* rendue suffisamment conductrice pour ne pas empêcher le courant de la pile *p* de circuler lorsque le manipulateur *m'* est abaissé, mais qui constitue pour les ondes un obstacle tel que la majeure partie du champ est concentré par la ligne A B.

On évite que la cuve *c* ne se polarise sous l'influence du courant de la pile *p*, en utilisant à tour de rôle chacun des pôles de cette pile pour la transmission de B vers A.

Si l'excitateur *e* est puissant il peut arriver que sous l'influence des oscillations électriques propagées l'isolant du fil de l'électro-aimant de *r'* ne soit endommagé. On protège facilement ce fil contre toute action nuisible des ondes en enfermant l'électro-aimant dans une enveloppe métallique. Cette enveloppe *a* communique avec la ligne au moyen du fil de l'électro-aimant au point d'entrée en 1, mais elle est soigneusement isolée de ce fil au point de sortie, en 2, afin d'éviter un court-circuit qui empêcherait la pile *p* de pouvoir actionner le récepteur *r'*.

Des essais [1] ont été réalisés avec ce dispositif entre deux postes éloignés de 350 m, et l'on a pu échanger, simultanément, des signaux sans que l'une des transmissions influât sur l'autre. La ligne était constituée par l'un des fils du secteur de la Station centrale d'Électricité de Bordeaux-les-Chartrons. Le voisinage des fils du secteur n'eut aucune influence sur la transmission, malgré la grande intensité du courant qui les parcourait. Il semble donc que la télégraphie par ondes électriques puisse être réalisée sur les fils mêmes qui servent actuellement en télégraphie par courant continu sans nécessiter d'isolement spécial.

Généralité de la solution. — La solution précédente du problème de la transmission duplex est plus générale que celles employées dans la télégraphie par courants continus. Elle permet en effet d'utiliser pour la transmission de A vers B un appareil télégraphique différent de celui employé pour la transmission de B vers A. Cette utilisation de deux appareils différents suivant le sens de la transmission peut avoir sa raison d'être lorsque la quantité de télégrammes expédiés dans un sens est assez différente de celle envoyée dans le sens contraire. On peut alors utiliser un appareil Morse pour la transmission dans un sens et un appareil Hughes pour la transmission dans l'autre sens.

Mais, il y a plus, non seulement cette nouvelle solution du problème de la transmission duplex permet ainsi l'usage d'appareils différents mais elle peut encore être appliquée au cas où l'on voudrait faire servir un fil établi entre deux stations A et B à desservir simultanément deux autres postes C, D placés sur le trajet de la ligne A B. Le schéma de la figure 101 montre comment par l'emploi combiné des ondes et du courant continu on

[1] A. Turpain. (*Comptes rendus de l'Academie des Sciences*, 14 mai 1900.)

peut réaliser simultanément l'échange de télégrammes entre A et B, et l'échange de communications entre C et D.

Lorsque le manipulateur *m* est abaissé, la transmission par ondes s'effectue entre A et B sans que les appareils

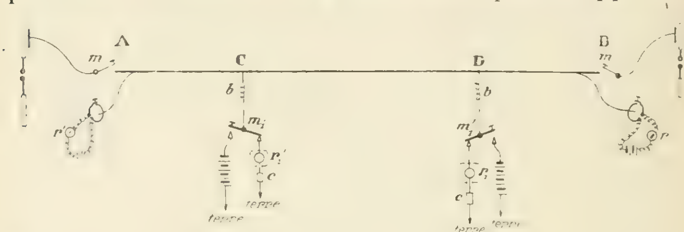


Fig. 101. — Dispositif de transmissions simultanées entre quatre postes échelonnés communiquant par couples. A communique avec B pendant que C communique avec D.

des postes C et D soient actionnés. Le récepteur *r* du poste B est seul mis en activité. Avec les connexions établies dans la figure 101, le récepteur *r'* se trouve aussi actionné lorsque le manipulateur *m* est abaissé ; on peut se servir de cette action pour effectuer en A le contrôle de la transmission.

Il est bon d'empêcher les ondes d'être dérivées en C et en D ; il suffit pour cela de disposer des bobines *b* de fil de fer fin enroulé en spires étroites.

Il est évident que ce dispositif permet de se servir entre A et B d'un appareil télégraphique différent de celui utilisé pour les échanges entre C et D.

Il n'est pas indispensable que les postes C et D soient tous deux situés entre A et B. Alors que le poste C est entre A et B, le poste D peut être situé au delà de B et la transmission entre les postes est malgré cela assurée par couples, simultanément.

Transmission duplex. — *Second dispositif.* — Dans un second dispositif l'un des postes reçoit des signaux enregistrés par un récepteur Morse actionné par le cou-

rant d'une pile alors que l'autre poste reçoit des ondes qui impressionnent un téléphone.

Les longues ou courtes émissions d'ondes reçues par le téléphone sont traduites en signaux Morse.

A la station A (fig. 102) on dispose un manipulateur de Morse qui commande l'émission des ondes produites

Fig. 102.
Transmission duplex par ondes électriques.
Second dispositif.

par un excitateur de Hertz E et les envoie sur le fil de ligne. Ce fil de ligne communique également avec l'une des bornes d'un récepteur Morse *r* dont l'autre borne est à la terre.

Pour empêcher la majeure partie des ondes d'être dirigées vers la terre à travers le récepteur de Morse, une bobine de self-induction *b*, formée de fil de fer très fin enroulé en spires étroites et noyées dans la paraffine (voir p. 115, *dispositifs de M. Marconi*), est intercalée sur le circuit du récepteur Morse.

Les enroulements de l'électro-aimant du récepteur Morse sont protégés contre l'action des ondes par une enceinte métallique de la même manière que dans le dispositif précédent.

A la station B le fil de ligne aboutit au pôle negatif d'une pile *p* formée d'un nombre pair d'éléments disposés en deux groupes égaux associés en surface, en même temps qu'à l'une des armatures d'un condensateur C. Le pôle négatif du second groupe de la pile est relié à l'armature d'un second condensateur C' identique au premier. Cette armature est réunie à la terre par l'intermé-

diaire d'un tube à vide contenant deux fils de platine très voisins l'un de l'autre mais non au contact. — Le milieu de la pile est mis en relation avec l'une des bornes d'un manipulateur de Morse dont l'autre borne est à la terre.

Les deux armatures des condensateurs C, C' restées libres sont attelées à un téléphone, soit directement, soit par l'intermédiaire d'une bobine d'induction.

Les choses étant ainsi disposées, il est aisé de voir que la manipulation effectuée en B par le manipulateur *m* n'influera en rien sur le téléphone *t* et n'y donnera lieu à la perception d'aucun son. En effet, les deux armatures des condensateurs C C' étant amenées à des potentiels égaux et de mêmes signes ne donnent lieu dans le téléphone *t* à aucun courant de décharge.

Si d'autre part un train d'ondes est émis par la station A, il arrive en B, traverse la pile et grâce au tube à vide *v* il se rend à la terre. A la traversée des condensateurs il produit dans le téléphone un bruit de friture très nettement perceptible.

Le tube *v* ne permet pas au courant de la pile de se rendre à la terre, par contre il n'offre aucun obstacle aux ondes électriques. C'est pour cette raison que la compensation de l'action de la pile sur les condensateurs est possible sans obliger pour cela les ondes à ne passer à la terre que lorsque le manipulateur *m* se trouve abaissé. Cette obligation rendrait en effet la ligne assez résistante pendant que le manipulateur *m* n'est pas actionné pour que la majeure partie des ondes produites soient amenées à la terre par le récepteur Morse de la station A. Le téléphone se trouverait alors par trop faiblement impressionné par les ondes.

Ce dispositif [1] a été expérimenté sur la même ligne

---

(1) A. Turpain. Association française pour l'avancement des sciences, *Congrès de Paris*, 1900.

de 350 m que le précédent, et on a pu échanger entre les deux postes A et B, non seulement des signaux rythmés qui ne se confondaient pas, mais aussi des mots entiers.

Transmission diplex par ondes électriques. — Cet usage des ondes électriques et du courant continu permet encore de résoudre le problème de la transmission diplex entre deux postes A et B. Pour permettre l'envoi de deux télégrammes simultanément de A vers B, il suffit de réaliser le dispositif de la figure 100 en plaçant le manipulateur m' et la pile p à la station A, alors que le récepteur r' est disposé à la station B. Les deux récepteurs r et r' alors en B, seront mis en activité simultanément par les manipulateurs m et m' de A sans que les signaux transmis au moyen des ondes influent sur la transmission des signaux par courant continu.

Dans ce cas de transmission diplex ainsi assurée, il n'est plus indispensable de conserver en B la cuve c, intercalée entre le récepteur r' et la terre.

Duplex et diplex. — Avec une semblable disposition des appareils, si la transmission simultanée de deux télégrammes est assurée de A vers B, par contre aucune transmission n'est possible de B vers A.

Mais si l'on suppose que les dispositifs figurés en A et en C (fig. 101) sont réunis dans un même poste A alors que ceux figurés en B et en D sont installés au poste B, il est alors possible, soit de transmettre en diplex de A vers B, soit de transmettre en diplex de B vers A, soit enfin d'assurer une transmission duplex entre A et B.

Il est cependant à remarquer qae si la transmission duplex et la transmission diplex peuvent être ainsi réalisées à volonté entre A et B, leur combinaison simultanée qui réaliserait la transmission quadruplex n'est pas possible.

S'il est en effet possible d'actionner en même temps

soit les deux manipulateurs m et m_1 de la station A, soit les deux manipulateurs m' et m'_1 de la station B, soit encore m et m'_1, ou m' et m_1, on ne peut sans apporter de trouble à la transmission actionner en même temps les quatre manipulateurs. On ne peut donc qu'échanger deux télégrammes entre A et B, ou bien encore transmettre deux télégrammes soit de A vers B, soit en sens inverse.

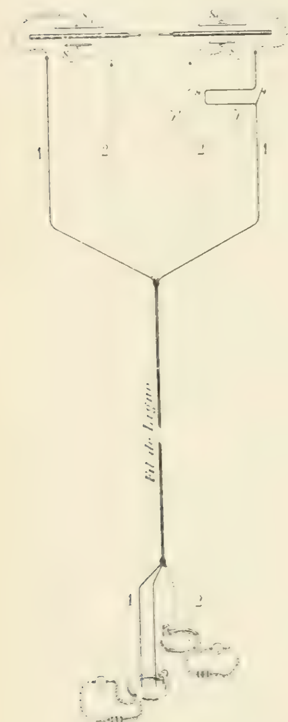


Fig. 103. — Entretien de deux résonateurs par les ondes électriques ; les résonateurs fonctionnant simultanément et indépendamment l'un de l'autre.

Pour permettre la transmission quadruplex entre A et B, il faut résoudre le problème de la transmission diplex non plus par l'emploi combiné des ondes électriques et du courant, mais en utilisant exclusivement les oscillations électriques.

Second dispositif : diplex à ondes électriques. — Ce dispositif utilise les phénomènes que présentent les champs interférents que nous avons exposés plus haut (p. 165).

L'expérience montre que la disposition employée (fig. 98) et qui permet d'actionner à volonté un résonateur placé à distance au moyen d'un seul fil tendu entre le point a et le point b, peut être utilisée à la mise en activité simultanée de deux résonateurs de longueurs différentes.

A partir d'un excitateur placé au poste de départ (fig. 103) on peut établir deux couples de fils 1 1' et 2 2' constituant chacun un système de champs à deux fils qu'on

peut à volonté rendre ordinaires ou interférents suivant la disposition que l'on donne aux ponts mobiles qui commandent les longueurs additionnelles de fil placées sur les fils 1′ et 2′.

Si l'on réunit ces quatre fils 1, 2, 1′, 2′ en un point à partir duquel le champ n'est plus concentré que par un fil unique jusqu'à la station d'arrivée, on peut néanmoins influencer à volonté l'un ou l'autre des deux résonateurs placés à la station d'arrivée. Il suffit pour cela de tendre à la station d'arrivée, à partir de la ligne, deux couples de fils de longueurs différentes à l'extrémité de chacun desquels se trouve placé le résonateur qui y correspond. Chaque couple a une longueur égale à la demi-longueur d'onde des oscillations qui excitent le résonateur qu'on y a associé.

Supposons qu'un seul pont soit abaissé à la station de départ, le pont du fil 1′ par exemple ; alors que le champ à deux fils 2, 2′ reste interférent et ne donne lieu à aucune propagation d'ondes le long du fil de ligne, le champ à deux fils 1, 1′ est ordinaire et le fil de ligne concentre et propage ce champ jusqu'à la station d'arrivée. Les oscillations sont alors propagées à l'arrivée sur les deux couples de fils qui aboutissent aux résonateurs, mais elles sont particulièrement renforcées par le couple 1 et par le résonateur situé à l'extrémité de ce couple, et cela parce que la longueur des fils et celle du résonateur correspondent à leur longueur d'ondes. Au contraire le couple de fil 2 et le résonateur 2 ne correspondant pas aux oscillations émises, ne les renforçent pas. On conçoit qu'on puisse ainsi actionner à distance celui des deux résonateurs que l'on veut.

Si ces résonateurs sont à coupure, on peut utiliser leur fonctionnement à l'entretien par une pile locale d'un appareil télégraphique quelconque. Il suffit que le pont situé à la station de départ et qui commande le résona-

teur à influencer soit lui-même invariablement lié au dispositif transmetteur de l'appareil télégraphique que l'on veut utiliser.

Ce dispositif a été essayé sur une ligne de 170 mètres de longueur, disposée autour des bâtiments de la station d'électricité de Bordeaux-les-Chartrons. On observait les micromètres des résonateurs employés. Au cours des expériences les deux résonateurs ont fonctionné sans que, une fois réglés, l'envoi d'un signal destiné à l'un d'eux ait été reçu par le second.

Transmission quadruplex par ondes électriques. — En utilisant le second dispositif de transmission diplex que nous venons de décrire, on peut réaliser une transmission quadruplex entre deux stations A et B. Il suffit

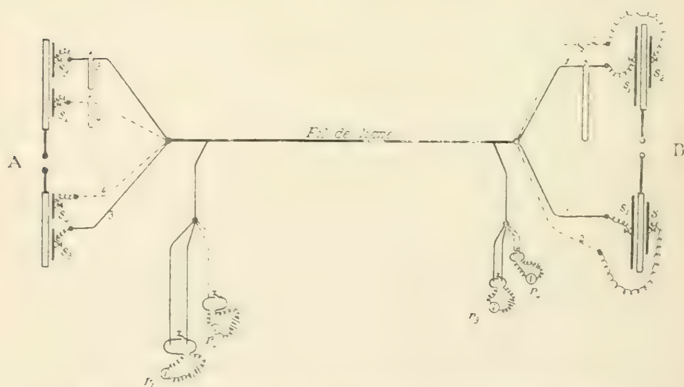


Fig. 104. — Transmission quadruplex par ondes électriques.

pour cela de doubler les dispositifs précédents et d'installer dans chacune des stations A et B un excitateur et un couple de résonateurs.

Les quatre résonateurs qu'on excite simultanément doivent être de longueurs différentes. On peut utiliser encore pour la transmission quadruplex des excitateurs

à plateaux. Il faut alors avoir soin de faire usage, comme plaques de concentration, de quatre couples de plaques telles que s_1 et s'_1, s_2 et s'_2, s_3 et s'_3, s_4 et s'_4 (fig. 104) possédant des capacités différentes. Il est cependant plus commode d'utiliser des excitateurs à sphères rappelant les excitateurs de M. Lodge et dont nous donnons plus loin la description.

Les connexions à établir entre les divers dispositifs récepteurs et manipulateurs sont représentées par le schéma de la figure 104.

Transmission multiplex par ondes électriques. — On peut enfin utiliser les mêmes phénomènes à la réalisation de transmissions multiplex entre deux stations A et B. Il suffit d'établir toute une série de couples de fils aboutissant tous en un point commun à partir duquel un seul fil, le fil de la ligne, est tendu.

Sur l'un des fils de chacun de ces couples est établie une longueur additionnelle différente de l'un à l'autre et accordée à l'un des différents résonateurs situés au bout de la ligne. Du point d'arrivée de la ligne s'épanouissent à nouveau toute une série de couples de fils de longueurs différentes, à l'extrémité de chacun desquels se trouve le résonateur à coupure qui y correspond.

En réalité, pour que les résonateurs fonctionnent bien indépendamment les uns des autres, il n'est pas possible d'opérer d'une manière aussi simple, du moins lorsqu'il s'agit d'actionner simultanément plus de deux ou trois résonateurs. Au lieu de ne se servir que d'un seul excitateur comme producteur des oscillations électriques, il est utile de constituer des excitateurs pour ainsi dire *monochromatiques* qui, émettant d'une façon très active des oscillations de période déterminée, soient susceptibles d'actionner vigoureusement un résonateur donné, d'ailleurs choisi par tâtonnements, à l'exclusion des autres.

Un moyen fort simple de constituer une série d'excitateurs monochromatiques fonctionnant d'une manière très satisfaisante, consiste à disposer côte à côte, dans une cuve remplie d'huile, toute une série de couples de sphères de diamètres décroissants (fig. 105).

Au voisinage d'un équateur de chacune des sphères est disposée une bande circulaire de métal de largeur égale au tiers du diamètre de la sphère et l'entourant.

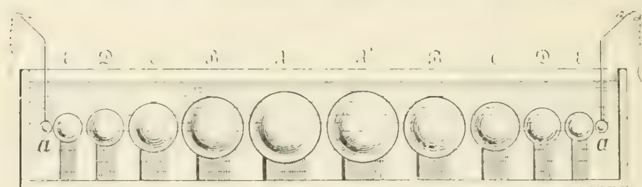


Fig. 105. — Dispositif d'excitateurs monochromatiques.

Ces bandes de cuivre jouent le rôle de plaques terminales des fils.

Toutes les sphères étant placées dans l'huile et à quelques millimètres les unes des autres, on les excite grâce aux deux conducteurs *a*, *a*, avec la même bobine de Ruhmkorff. Chacun des couples de sphères de même diamètre se trouve alors, par raison de symétrie, le siège d'oscillations de même période pour chacune des deux sphères, mais de périodes différentes pour chaque couple.

Ces oscillations sont reproduites par les bandes de cuivre qui avoisinent les sphères et elles sont propagées ou non jusqu'au résonateur en accord avec le couple de sphères considéré suivant que le pont qui commande au départ la longueur additionnelle de fil, relative à ce résonateur, est ou non fermé.

Ces dispositifs ont été expérimentés sur une ligne de 170 m de longueur. Les expériences ont été faites entre trois postes établis : l'un A, au commencement de

la ligne, l'autre B, aux deux tiers de sa longueur, le troisième C, à l'extrémité.

Au cours de ces expériences, dont quelques-unes ont été réalisées en temps de pluie, les cinq résonateurs accordés qui permettaient la réception entre A et B, A et C, B et C, B et A, C et B, ont toujours fonctionné indépendamment les uns des autres et sans que, une fois réglés, l'envoi d'un signal destiné à l'un d'eux soit reçu par un autre.

Deux de ces résonateurs étaient complets, on y lisait les signaux par l'apparition d'étincelles de longue et courte durée ; les trois autres résonateurs étaient à coupure et entretenaient des électro-aimants.

Autre dispositif récepteur. — Au poste d'arrivée un cortège d'oscillations de longueur d'ondes différentes se présente, ayant cheminé tout le long du fil unique de ligne. Pour séparer chacun de ces trains d'onde, on établit au poste d'arrivée une série de caisses de réso-

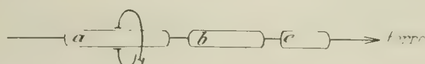


Fig. 106. — Transmission multiplex par ondes électriques. Dispositif récepteur.

nance électrique *a*, *b*, *c* (fig. 106), constituées chacune par deux longueurs de fils parallèles égales à la demi-longueur d'onde des oscillations à renforcer. Les extrémités de chacun de ces couples de fils sont réunies d'une part, soit au fil de ligne, soit à la caisse de résonance précédente, d'autre part à la caisse de résonance suivante comme l'indique la figure.

Entre ces fils et perpendiculairement à leur direction, on dispose le plan du résonateur à coupure correspondant aux oscillations renforcées par la caisse de résonance électrique formée par les deux fils. Ce résonateur à coupure est attelé au récepteur de l'appareil télégraphique employé par l'intermédiaire d'une pile locale.

Les deux pôles du micromètre du résonateur sont réunis aux deux électrodes d'un cohéreur à cohésion magnétique de M. Tissot, réalisant un dispositif particulier [1].

---

(1) Le tube du cohéreur à limaille magnétique forme la palette d'un électro-aimant A (fig. 107). A cet effet, il porte vers une extrémité une petite bague de cuivre a; cette bague est prise entre deux vis formant pivots. Le tube du cohéreur qui est dans une position verticale peut osciller autour des pivots. L'autre extrémité du tube porte une bague de fer b à laquelle est fixé un levier l. Cette bague peut être attirée par l'électro-aimant A. Le cohéreur tout entier oscille alors autour

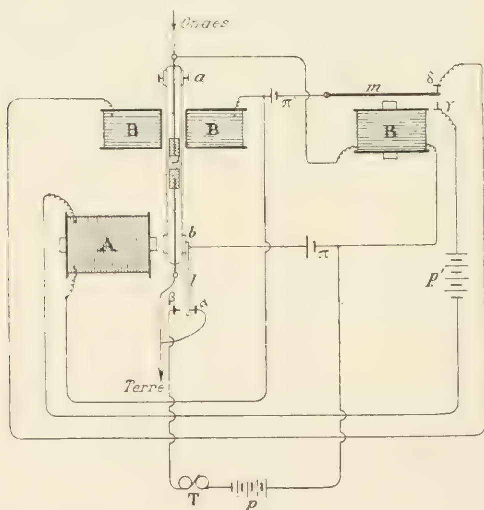


Fig. 107. — Application du cohéreur magnétique de M. Tissot à l'entretien d'appareils télégraphiques rapides.

des pivots de la bague a et le levier l quitte le butoir de repos α pour venir au contact du butoir β.

Entre les deux bagues le tube du cohéreur supporte encore une petite bobine de fil isolé B qui produit le champ magnétique de cohésion et peut être rapprochée à volonté de la région occupée par la limaille de fer.

Un relais polarisé R est intercalé ainsi qu'une pile π (ou mieux un potentiomètre) dans le circuit du cohéreur. Les connexions sont établies de telle sorte que les ondes rendant conducteur le cohéreur, le courant de la pile π traverse les bobines du relais R, le cohéreur, puis revient à

Si l'énergie des ondes électriques reçues est trop intense et que le cohéreur risque d'être impressionné par toutes les ondes que concentre le fil de ligne et non pas seulement par celles qui lui sont destinées, on place le cohéreur au voisinage du micromètre du résonateur sans le relier aux pôles du micromètre. Le résonateur peut alors ne pas être à coupure, le récepteur télégraphique devant être dans ce cas attelé au cohéreur.

Ce système de transmission multiplex présente sur ceux qui, procédant de l'expérience de l'abbé Laborde, utilisent les mouvements sonores, l'avantage de pouvoir faire usage d'un appareil télégraphique quelconque. On ne se trouve plus obligé d'assurer la transmission des télégrammes en faisant usage des signaux conventionnels de Morse. La faculté que l'on a de pouvoir intercaler dans le circuit de la pile locale, qui aboutit aux extrémités de la coupure de chaque résonateur, le récepteur que l'on veut, permet d'utiliser avec ce dispositif multiplex les appareils imprimeurs, en particulier l'appareil Hughes. Il suffit de commander chaque pont mobile au

---

la pile par le butoir α, le levier l et la bague b. La palette m du relais se trouve alors attirée. A sa position de repos, cette palette appuyant sur le butoir δ permet au courant d'une pile π' (et mieux d'un potentiomètre) de traverser la bobine B qui produit le champ magnétique de cohésion. — Il arrive ainsi que dès que le cohéreur devient conducteur, le champ magnétique de cohésion est supprimé. La palette m du relais venant au contact du butoir γ la pile π' s'ajoute à la pile p' pour établir un courant dans l'électro-aimant A et produire l'attraction du cohéreur. En même temps que le cohéreur reçoit ainsi un léger choc, le courant établi entre l et α se trouve rompu, ce qui aide encore à la décohésion du cohéreur.

Il est à remarquer que trois actions concourent simultanément à la décohésion : la suppression du champ magnétique de cohésion, le léger choc du cohéreur contre l'armature de l'électro-aimant A et la rupture en un point du circuit que ferme le cohéreur.

On utilise le mouvement du levier l qui vient au contact du butoir β pour renforcer la pile π par la pile p et établir le courant des deux piles à travers les bobines T d'un appareil télégraphique rapide. (A. Turpain. Association française pour l'avancement des sciences. *Congrès de Paris*, 1900.)

moyen du mécanisme transmetteur de cet appareil. On peut d'ailleurs également employer concurremment des appareils télégraphiques divers dont les organes manipulateurs et récepteurs sont convenablement associés.

Multicommunicateur à ondes électriques. — L'emploi des oscillations électriques permet encore de résoudre d'une manière entièrement générale, et en répondant complètement à l'énoncé que nous avons donné plus haut l'important problème de la multicommunication télégraphique.

Il suffit d'établir dans chacune des stations A, B, C..., N, échelonnées sur le fil unique AN, des dispositifs analogues à ceux décrits ci-dessus. Il faut alors faire usage d'un nombre de résonateurs différents égal au nombre de communications simultanées que l'on veut assurer.

On peut, en définitive, assimiler l'emploi des oscillations électriques dans ces dispositifs à l'emploi des vibrations sonores et cela de la manière suivante :

Qu'on suppose un tube acoustique reliant deux ou plusieurs stations et muni à l'arrivée et au départ de plusieurs embouchures. Les embouchures au départ concentrent le mouvement sonore qu'émettent différents tuyaux sonores que nous supposerons pour plus de simplicité au nombre de deux seulement, l'un donnant le *la*, l'autre le *sol*. A l'arrivée, en face des embouchures, se trouvent des résonateurs acoustiques de Helmholtz, l'un capable de renforcer le *la* et sourd au *sol*, l'autre capable de renforcer le *sol* et sourd au *la*.

Les transmissions faites au départ sur le *sol* et sur le *la* ont cheminé de concert : à l'arrivée le partage se fait grâce à la présence des résonateurs acoustiques.

Il se passe un phénomène anologue dans les dispositifs que nous venons de décrire.

Si nous reprenons l'énoncé général du problème, nous

pouvons dire que, grâce aux différents excitateurs qui fonctionnent dans les postes échelonnés A, B, C,... N, un cortège d'oscillations électriques de périodes différentes se propage sur la ligne AN. Le triage de ces oscillations électriques se fait à chaque résonateur qui garde et renforce celles de ces oscillations correspondant à sa période et laisse cheminer les autres ; ces dernières à leur tour sont reçues chacune par le résonateur qui lui est propre.

Téléphonie et télégraphie simultanées. — De même qu'il est possible d'employer un même conducteur pour propager concurremment des ondes électriques et un courant électrique, et d'assurer ainsi une transmission duplex ou diplex entre deux stations, il est également possible de conduire par un même fil des ondes électriques et un courant téléphonique, par suite d'assurer la simultanéité d'une communication téléphonique et d'un échange de signaux télégraphiques au moyen d'un conducteur unique.

Quelques précautions spéciales doivent être prises toutefois pour empêcher les ondes électriques d'influencer le téléphone et d'y produire un bruit de friture, qui sans empêcher la transmission de la parole, rendrait pénible et fatiguant l'usage du téléphone.

Les connexions générales des appareils télégraphiques et téléphoniques sont celles réprésentées par le schéma de la figure 108 qui rappelle ceux des figures 100 et 101.

En T sont représentées les dispositifs télégraphiques : le manipulateur m servant à la transmission de A vers B, le récepteur r' destiné à la réception des télégrammes envoyés de B vers A.

En $\mathcal{T}$ sont représentés les dispositifs téléphoniques, μ représente le microphone et τ le téléphone.

Les appareils sont disposés d'une façon analogue à la station B.

Tous les appareils servant à la téléphonie sont enfermés dans une enceinte *e* conductrice. Le fil de ligne pénètre dans cette enceinte par l'intermédiaire d'une ampoule à vide α dont nous allons donner la description. Le conducteur formant l'enceinte est relié par un fil *f* aux dispositifs télégraphiques T. — Il est bon que l'enceinte soit isolée.

Il est plus aisé qu'il ne paraît à première vue de réaliser ces dispositifs, surtout lorsque les téléphones sont

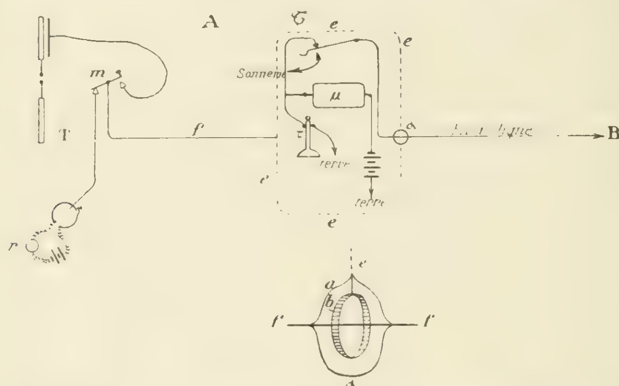


Fig. 108. — Dispositif de téléphonie et télégraphie simultanées.

placés à l'intérieur des cabines téléphoniques. Il suffit lors de la construction de la cabine de recouvrir l'intérieur de la cabine, entre la tapisserie et la boiserie extérieure, de feuilles d'étain, collées bord sur bord. Si la cabine est disposée dans un lieu sec l'isolement du bois suffit. On peut d'ailleurs facilement la placer sur quatre isolateurs plats en porcelaine.

Quant au tube à vide α qui assure la communication du fil de ligne avec l'enceinte et avec les appareils téléphoniques, il constitue le dispositif essentiel permettant la simultanéité des communications. Nous en représentons le dessin à une plus grande échelle.

Le fil de ligne *ff* pénètre à l'intérieur d'une ampoule de verre *a* qu'il traverse de part en part. Une bande métallique circulaire *b* est disposée à l'intérieur de l'ampoule dans un plan perpendiculaire à la direction du fil *f*. Cette bande communique à l'aide du fil traversant la paroi de l'ampoule avec l'enceinte *e*. Grâce à cette disposition et lorsque l'air de l'ampoule est amené à un degré de raréfaction convenable, les ondes électriques transmises de B vers A et destinées à assurer les transmissions télégraphiques, sont concentrées par le fil de ligne jusqu'en *α*, puis grâce au peu de résistance que leur offre l'ampoule à air raréfié et à la propriété que possèdent les écrans métalliques de ne pas se laisser traverser par les ondes, elles sont transmises aux appareils télégraphiques par l'enceinte *e* et le fil *f*, et n'influent en rien sur les appareils téléphoniques qui se trouvent protégés contre leur action par la présence de cette enceinte.

De même les ondes émises de A vers B passent du fil *f* à la ligne en étant concentrées par l'enceinte et transmises par l'ampoule.

Quant au courant téléphonique qui se propage sur la ligne il n'est pas capable de franchir l'obstacle que lui présente l'ampoule et parvient aux appareils téléphoniques.

En définitive on met en pratique dans ce dispositif la propriété, signalée par Hertz, que possèdent les ondes électriques de n'intéresser, lorsqu'elles sont propagées par un conducteur, que la surface extérieure du conducteur employé.

De même que dans les dispositifs analogues de transmissions télégraphiques en duplex et en diplex, on peut placer les appareils télégraphiques T à deux stations extrêmes A et B, et les appareils téléphoniques $\mathfrak{T}$ à deux stations intermédiaires C et D. On peut ainsi amener au moyen d'un conducteur unique tendu entre deux stations

extrêmes A et B, la transmission des télégrammes entre ces deux stations en même temps qu'on utilise le même fil pour permettre des communications téléphoniques entre deux stations intermédiaires C et D (voir fig. 101).

La multicommunication en téléphonie. — Quant au problème de la multicommunication en téléphonie, jusqu'à ce jour on n'a indiqué aucun dispositif permettant de le résoudre, soit par l'utilisation des ondes électriques, soit par la mise en œuvre d'autres phénomènes. Il ne semble pas toutefois que sa solution dépasse les applications possibles des ondes électriques. — Si en effet on parvient au moyen de propagation d'ondes électriques à transmettre d'un point à un autre les impressions sonores communiquées par la voix à un téléphone, on peut espérer que dès lors l'application des propriétés des champs interférents, et la réalisation d'un dispositif en tout point semblable au multicommunicateur à ondes, permettra la solution du problème envisagé au point de vue de la téléphonie.

CHAPITRE V

COURANTS DE HAUTE FRÉQUENCE

Supposons qu'un fil conducteur formant une boucle circulaire soit animé d'un mouvement de rotation uniforme autour d'un des diamètres de la boucle, et que ce mouvement s'effectue dans un champ magnétique uniforme dont l'intensité est dirigée perpendiculairement à ce diamètre. Dans ces conditions le mouvement de la boucle déterminera dans le circuit qu'elle forme la production d'un courant électrique dont le sens se trouve périodiquement renversé. L'intensité du courant qui parcourt la boucle varie à chaque instant et s'annule périodiquement, à chaque inversion du courant.

On dit que la boucle est parcourue par un courant *alternatif*.

On désigne sous le nom de *fréquence* du courant alternatif la moitié du nombre d'inversions par seconde. Un courant alternatif de fréquence 10 est un courant qui change de sens dans le circuit qu'il parcourt vingt fois par seconde.

Pour augmenter la fréquence d'un courant alternatif on peut augmenter la vitesse des parties mobiles des appareils (*alternateurs*) qui produisent le courant ; on peut encore y arriver en multipliant le nombre des pôles d'aimants dont les alternateurs sont munis.

Pour rendre très élevée la fréquence d'un courant alternatif on peut agir à la fois sur ces deux facteurs de la fréquence : vitesse des parties mobiles, nombre des pôles d'aimant.

L'augmentation de la fréquence par ces moyens est évidemment limitée et par la résistance des pièces mobiles des alternateurs dont la vitesse de rotation ne peut dépasser un certain nombre de tours par seconde, et par les difficultés de construction qu'il y a à augmenter de plus en plus le nombre des pôles de l'alternateur.

Alternateur à haute fréquence de M. Tesla (1). — Ce procédé de production de courants de haute fréquence a été employé par M. Tesla qui a construit un alternateur pouvant fournir un courant dont la fréquence atteint 15 000.

Les pièces polaires qui sont au nombre de 480 forment un anneau à l'intérieur duquel tourne l'induit.

L'induit forme également un anneau, tourné extérieurement, et présentant un espace ménagé pour un enroulement de fil de fer doux recuit constituant le noyau des bobines induites qui sont en nombre égal à celui des protubérances polaires de l'inducteur.

Les bobines induites sont reliées entre elles en série et aboutissent aux anneaux de prise de courant sur lesquels frottent les balais. La vitesse de rotation peut atteindre de 1 600 à 1 800 tours par minute, soit près de 30 tours par seconde.

On peut établir la machine de deux façons en enroulant le circuit excitateur de telle sorte que les pôles magnétiques soient alternés, ou bien en faisant en sorte que les protubérances polaires soient de même polarité.

M. Tesla a aussi construit des alternateurs à haute fréquence dans lesquels l'armature induite est fixe et le

---

(1) TESLA. (*Electrical Engineer de New-York*, 18 mars 1891.)

champ mobile. Dans ces machines, l'enroulement excitateur est fixe et la partie mobile ne se compose que du noyau en fer forgé.

Production des courants de haute fréquence au moyen des décharges oscillantes. — En dehors de ce mode de production des courants de haute fréquence par des alternateurs à grand nombre de pôles et à grande vitesse, mode qui utilise des moyens mécaniques, il existe un procédé physique consistant à employer les décharges électriques oscillantes.

C'est par la mise en œuvre de ce procédé que la production des courants de haute fréquence devient une application des ondes électriques.

Non seulement ce second moyen ne nécessite pas un appareil de construction délicate et coûteuse, mais il offre encore sur le premier l'avantage d'obtenir des courants de fréquence bien plus élevée.

En principe ce moyen consiste à relier en dérivation sur les deux conducteurs d'un excitateur de Hertz l'un des circuits d'un transformateur dont l'autre circuit se trouve être le siège de courants de très haute fréquence.

Si l'on applique la théorie de lord Kelvin à l'étude de la décharge du condensateur électrique que forme l'excitateur et que l'on suppose les conditions de la décharge oscillante réalisées, on est conduit au résultat suivant :

Les deux conducteurs qui forment le condensateur de capacité C constituent dans leur ensemble une certaine résistance électrique R. Le circuit formé par ces conducteurs possède un certain coefficient d'induction propre L.

La décharge est oscillante si l'on a

$$R^2 < \frac{4L}{C}.$$

La durée d'une période T est donnée par la formule

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{R^2}{4L^2}}}.$$

Désignons par ω l'expression suivante :

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{R^2}{4L^2}}.$$

Si l'on désigne par Q_0 la valeur de la charge initiale que possède le condensateur, on trouve que l'intensité du courant de décharge à l'instant t est

$$i = \frac{Q_0}{\omega LC} e^{-\frac{Rt}{2L}} \sin \omega t,$$

c'est-à-dire que ce courant est alternatif.

La fréquence f de ce courant de décharge, qui est l'inverse de sa période, est

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{\sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{R^2}{4L^2}}}{2\pi}.$$

On peut donc en faisant varier les quantités R, L, C faire varier la fréquence.

Dispositifs de M. Tesla. — M. Tesla a le premier indiqué un dispositif permettant d'obtenir des courants de haute fréquence au moyen des ondes électriques.

Premier dispositif. — Aux deux bornes b, b d'une bobine d'induction sont réunies les deux armatures d'un condensateur C (fig. 109). Ces deux armatures sont respectivement reliées à deux boules métalliques entre lesquelles éclate l'étincelle de décharge. Alors que l'une des boules est directement en communication avec l'une des armatures du condensateur, l'autre boule est reliée à l'autre armature par l'intermédiaire du circuit primaire p

d'un transformateur. Ce circuit, constitué par un fil de gros diamètre, se trouve ainsi parcouru par un courant de très haute fréquence. Le courant induit dans le secondaire *s* du transformateur, formé d'un fil très fin, est de fréquence correspondante. Une énorme différence de potentiel existe entre les extrémités du secondaire, comme le prouvent les longues étincelles produites entre les bornes de cet enroulement.

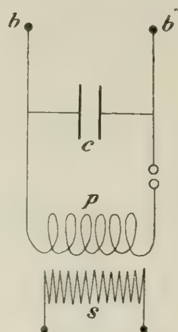


Fig. 109. — Courants de haute fréquence. Dipositif de M. Tesla.

Le transformateur qu'utilise M. Tesla comprend un enroulement primaire formé d'un gros fil (2 à 3 mm de diamètre) formant 12 à 15 spires et disposé à l'intérieur d'un cylindre isolant. L'enroulement secondaire a pour support ce cylindre et est formé d'un fil fin constituant une seule couche de 100 à 120 spires environ ; les spires sont séparées les unes des autres par un fil de soie enroulé à côté du fil secondaire. Le cylindre isolant et les deux enroulements extérieur et intérieur qu'il sépare sont immergés dans l'huile.

Le condensateur, dont la décharge oscillante traverse le primaire du transformateur, est formé par une bouteille de Leyde. Ce condensateur se trouve, d'après le schéma décrit ci-dessus, placé en dérivation sur les conducteurs reliant la bobine d'induction au transformateur. On peut considérer ce condensateur comme un excitateur de Hertz dont l'une des tiges de communication avec les boules de décharge serait remplacée par le circuit à gros fil du transformateur.

Second dispositif. — Le schéma de la figure 110 indique un dispositif un peu différent réalisé également par M. Tesla.

Les pôles du circuit induit *i* d'une bobine d'induction sont reliés aux armatures de deux condensateurs C et C'. En dérivation sur les conducteurs issus des pôles est disposé un excitateur à sphères F, F' entre lesquelles se produit la décharge des condensateurs. Les armatures libres des condensateurs C et C' sont reliées aux extrémités de l'enroulement primaire d'un transformateur de Tesla, sans fer. Cet enroulement primaire est divisé en deux portions égales J et J' aboutissant chacune à l'une des boules d'un petit excitateur G. L'enroulement secondaire à fil fin se termine en E et E' ; c'est dans ce circuit que circule un courant à haute fréquence et de tension très élevée.

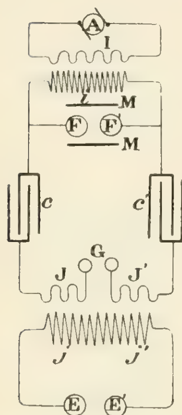


Fig. 110. — Courants de haute fréquence. Second dispositif de M. Tesla.

Soufflage de l'étincelle. — Pour augmenter l'effet du courant d'air produit par l'étincelle, on place de part et d'autre des sphères de l'excitateur de grandes feuilles de mica MM.

Ces feuilles de mica entourant les sphères de l'excitateur ont pour effet de provoquer un courant d'air plus intense sur la production de l'étincelle. Il y a avantage à ce que l'étincelle soit rompue à peine a-t-elle été produite. La décharge n'est en effet oscillante que pendant les premiers instants de la durée de l'étincelle. Aussi les effets produits sont-ils d'autant plus puissants que le soufflage de l'étincelle est plus énergique.

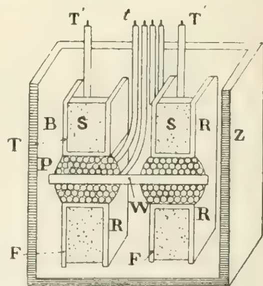


Fig. 111. — Transformateur de haute fréquence.

Le transformateur de haute fréquence est représenté

en coupe par la figure 111. La bobine comprend deux parties symétriques R,R maintenues à 10 cm de distance par des boulons et des écrous en ébonite ; chacune se compose d'un tube T d'environ 8 cm de diamètre intérieur et 3 mm d'épaisseur, sur lequel se vissent les joues FF, de 24 cm carrés, espacées l'une de l'autre d'environ 3 cm. Le fil secondaire S de chaque demi-bobine est du fil fin, très bien isolé à la gutta, et fait 260 tours (26 couches de 10 spires chacune). Les deux demi-bobines sont enroulées en sens opposés et reliées en série.

Le fil primaire P est enroulé par moitié et en sens opposés sur une bobine de bois W et ses quatre extrémités sortent de la cuve remplie d'huile, où plonge la bobine, au travers de tubes d'ébonite *tt*. Chaque enroulement primaire comprend quatre couches de 24 spires, soit 96 tours de fil isolé par une guipure de coton.

Soufflage magnétique de l'étincelle de décharge. — Au lieu de disposer, comme dans le schéma de la figure 110 deux excitateurs F et G, il y a avantage, quand la bobine d'induction T est alimentée par un courant de basse fréquence, à disposer un champ magnétique intense à angle

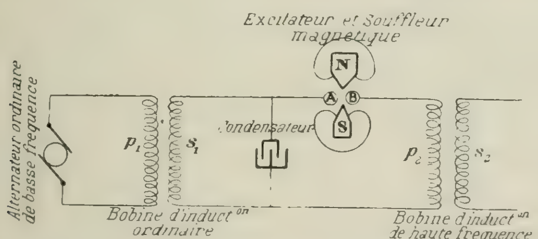


Fig. 112. — Dispositif de production des courants de haute fréquence avec soufflage magnétique de l'étincelle de décharge.

droit sur le parcours de la décharge de l'excitateur. Ce champ magnétique sert à souffler l'arc entre les boules. On produit le champ magnétique à l'aide d'un fort électro-aimant NS (fig. 112) dont les pièces polaires mobiles

sont de forme convenable pour concentrer le champ entre les boules de décharge. Ces pièces peuvent être munies de feuilles protectrices de mica d'épaisseur suffisante pour empêcher la décharge d'éclater entre les boules et l'électro-aimant. La disposition générale des appareils est représentée par la figure 112, qui rappelle le premier dispositif.

Appareil Miller. — M. Leslie Bradley Miller [1] a rassemblé en un tout compact facilement transportable le dispositif de M. Tesla.

La bobine d'induction est remplacée par un transfor-

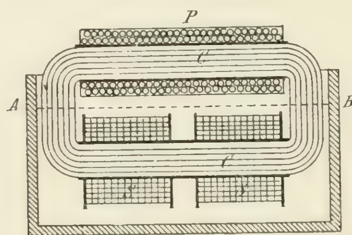


Fig. 113. — Appareil Miller. Transformateur.

mateur représenté par la figure 113, dont le circuit secondaire baigne dans l'huile. Le primaire P de ce transformateur est enroulé sur la partie supérieure d'un cadre en fer lamellé C; il est formé de plusieurs sections, de manière à pouvoir aisément faire varier le rapport de transformation. Le secondaire S est constitué par deux bobines enroulées sur la partie inférieure du cadre; ces bobines sont plongées dans de l'huile dont le niveau AB est situé au-dessous de l'enroulement primaire de manière à permettre un refroidissement plus énergique de cet enroulement que s'il était plongé dans l'huile.

(1) Leslie Bradley Miller. Brevet anglais, n° 12859, du 11 juin 1896, accepté le 5 juin 1896.

Entre les bornes du secondaire de ce transformateur sont placés, en dérivation, un condensateur C, et, en série, le primaire *p* d'un transformateur de M. Tesla et un interrupteur à étincelles (fig. 114 et 115). Le secondaire *s*

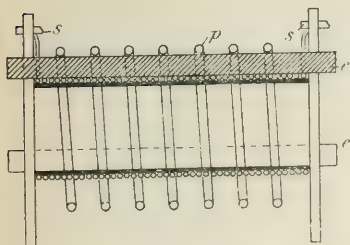


Fig. 114. — Appareil Miller. Enroulement du transformateur Tesla.

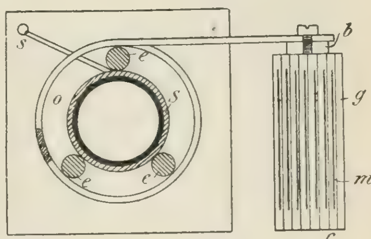


Fig. 115. — Appareil Miller. Coupe verticale du transformateur Tesla et du condensateur.

du transformateur Tesla est formé par l'enroulement sur un cylindre d'ébonite d'un fil métallique recouvert de coton n'ayant d'autre but que de maintenir les fils à une distance convenable, l'isolement étant assuré par l'huile. Sur ce secondaire sont placées plusieurs tiges d'ébonite *e* munies d'encoches destinées à maintenir en place les spires du circuit primaire *p*. Le condensateur est formé de feuilles d'étain *g* (fig. 115) séparées par des lames de verre *m*. Ce condensateur est plongé verticalement dans l'huile, de façon à éviter la présence de bulles d'air sur les armatures.

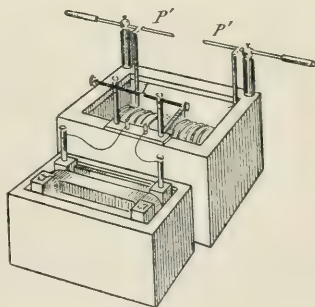


Fig. 116. — Courants de haute fréquence. Appareil Miller.

La figure 116 représente l'ensemble de l'appareil. Le premier transformateur dont la figure 113 donne la coupe verticale est disposé au premier plan. La cuve du second

plan contient le transformateur Tesla et le condensateur représenté en détails par les figures 114 et 115. Sur les parois de cette seconde cuve sont fixés l'interrupteur et les supports des pôles *p* du secondaire du transformateur Tesla.

Dispositif de M. Tesla sans bobine d'induction (1). — M. Tesla a indiqué un dispositif permettant d'obtenir des

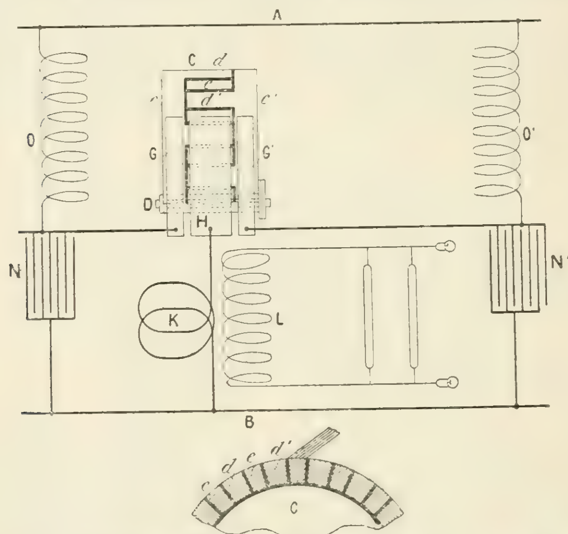


Fig. 117. — Courants de haute fréquence. — Dispositif de M. Tesla sans bobine d'induction.

courants de haute fréquence avec une source de courant continu et sans employer une bobine de Ruhmkorff.

Entre deux conducteurs rectilignes parallèles A,B (fig. 117), respectivement reliés aux deux bornes de la source de courant continu, sont disposées deux dérivations comprenant chacune une bobine de self-induction et un condensateur réunis en série. Les bobines de self-

(1) Tesla. (*Electrical Engineer* (N. Y.), 1897.)

induction O,O′ sont reliées au conducteur A. Les armatures des condensateurs X, X′, qui ne communiquent pas avec ces bobines, sont reliées au conducteur B.

Un commutateur tournant de construction spéciale supporte trois balais G, H G′, dont les deux extrêmes G et G′ sont reliés à des conducteurs aboutissant respectivement entre chaque bobine O, O′ et le condensateur qui y est relié. Ces balais G, G′ appuient sur les portions non découpées *c*, *c*′ de deux bandes cylindriques conductrices entourant l'axe du commutateur tournant, dont elles sont séparées par un cylindre isolant qu'elles enserrent. Les portions découpées de ces bandes forment des dents rectangulaires *d*, *d*′ chevauchant l'une à côté de l'autre et séparées chacune de la suivante par un intervalle isolant rectangulaire de même largeur que chaque dent. Le balai médian H appuie sur la partie du cylindre occupée par ces dents. La portion du commutateur tournant qui frotte sur le balai H est représentée en bas de la figure. On y voit la dent *d* en communication par *c* avec le balai G et la bande *d*′ en contact par *c*′ avec le balai G′. Les bandes *e*. *e* sont isolées. Les traits pleins du dessin représentent l'isolant. Pendant que le commutateur tourne, le balai H est donc successivement mis en communication avec le balai G, puis isolé, puis mis en communication avec le balai G′, de nouveau isolé, puis il revient en communication avec le balai G, et ainsi de suite. Ce balai H est relié à l'extrémité du primaire K d'un transformateur de Tesla, dont l'autre extrémité communique avec le conducteur B.

Lorsque le commutateur tourne, le circuit primaire de ce transformateur est parcouru successivement par les décharges des condensateurs C et C′, qui sont rechargés grâce à la différence de potentiel existant entre les deux fils A et B, reliés aux deux bornes de la source de courant continu.

Dispositifs de M. Elihu Thomson (1). — Le dispositif employé par M. Elihu Thomson ne diffère pas sensiblement de celui indiqué par M. Tesla.

Deux enroulements à gros fil, l'un comprenant douze spires, l'autre vingt spires, sont placés, le premier à l'intérieur, le second à l'extérieur d'un cylindre isolant qui leur sert de support. Le tout baigne dans l'huile.

Une des extrémités de chaque enroulement est réunie à un conducteur terminé par une sphère métallique A (fig. 118), si bien que les deux enroulements communiquent entre eux par une de leurs extrémités. L'extrémité libre du circuit intérieur au cylindre isolant est reliée à la boule médiane *b* d'un système de trois boules conductrices *a*, *b*, *c* disposées côte à côte à quelques millimètres les unes des autres. La boule *a* est réunie à l'extrémité libre du circuit extérieur au cylindre, alors que la boule *c* est en communication avec l'armature extérieure d'une bouteille de Leyde, dont l'armature intérieure est reliée à une sphère B voisine de A.

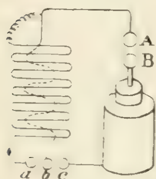


Fig. 118. — Courants de haute fréquence. Dispositif de M. Elihu Thomson.

La bouteille de Leyde est chargée au moyen d'une machine de Holtz.

Soufflage de l'étincelle. — L'étincelle de décharge qui éclate entre les deux sphères A et B est soufflée non plus en utilisant le champ magnétique d'un puissant électro-aimant, comme dans le dispositif de M. Tesla, mais à l'aide d'un violent courant d'air provenant d'une soufflerie et dirigé entre les deux sphères au moyen d'une tuyère.

Bobines de haute fréquence. — M. Elihu Thomson a également utilisé un dispositif en tout point analogue au

(1) Elihu Thomson. (*Electrical. World*, 2 avril 1892.)

dispositif de M. Tesla et dans lequel le soufflage magnétique de l'étincelle de décharge est remplacé par le soufflage à l'aide d'un fort courant d'air.

Dans ce dispositif, M. E. Thomson a utilisé deux bobines de haute fréquence dont la construction très simple et relativement peu coûteuse mérite d'être décrite.

Petit appareil. — Un petit modèle est contenu à l'intérieur d'une auge en bois assez étanche pour retenir de l'huile (fig. 119).

Le circuit secondaire, qui comprend 150 spires de fil fin couvert de soie, est enroulé sur un cylindre de papier

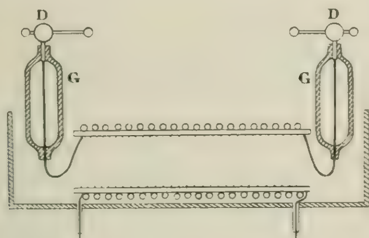


Fig. 119. — Bobine de haute fréquence de M. Elihu Thomson. Petit appareil.

fort ou de carton qui se loge à l'intérieur d'un cylindre de verre servant de support au circuit primaire. Ce circuit repose sur le fond de l'auge et ses deux extrémités traversent deux tubes de verre fixés au fond de l'auge et à l'intérieur desquels le fil primaire est mastiqué. Le fil primaire de gros diamètre forme des spires de 12 à 15 cm de diamètre et au nombre de 15 à 20. Ce fil est simplement isolé au coton.

Les extrémités du fil secondaire sortent de l'auge par deux vases en verre G remplis d'huile et portant les boules D qui servent de pôles à l'appareil. Ces vases peuvent être obtenus en accolant deux bouteilles dont le fond est enlevé. Leur présence empêche que la décharge se produise à la surface de l'huile.

Grand appareil. — Un modèle très puissant permettant d'obtenir des décharges de très hautes tensions peut également être construit d'une manière assez simple (fig. 120).

Les deux enroulements primaire et secondaire sont

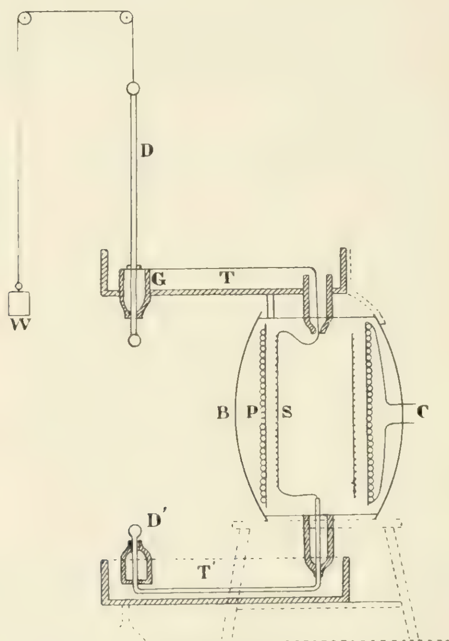


Fig. 120. — Bobine de haute fréquence de M. Elihu Thomson. Grand appareil.

disposés verticalement à l'intérieur d'un tonneau B rempli d'huile lubrifiante. Chacune des bobines primaire et secondaire est enroulée sur un cylindre de carton. Les diamètres des deux cylindres diffèrent d'environ 8 cm, le plus petit ayant 33 cm de diamètre. Il est recouvert de deux couches de soie sur lesquelles sont enroulées 500 spires de fil fin (0,45 mm de diamètre) couvert de coton. Cette couche de fils occupe 50 cm de la longueur du cylindre.

Le circuit primaire P consiste en 15 tours d'un conducteur composé de cinq fils assez gros dont les extrémités sortent par la bonde du tonneau en C.

L'extrémité inférieure de l'enroulement secondaire aboutit à une tringle qui traverse un vase en verre planté dans le fond du tonneau et plongeant dans un bac rempli d'huile T'. La tringle métallique se prolonge jusqu'à la boule D' qui constitue un des pôles de l'appareil. L'autre extrémité est en communication avec le second pôle par une disposition analogue. Le tube de laiton D qui porte ce pôle est équilibré par un contrepoids W qui sert à le déplacer dans la glissière G. Ce tube de laiton de 2 à 3 cm de diamètre est muni à sa partie supérieure d'une grosse sphère métallique polie pour empêcher les décharges latérales dans l'air.

L'étincelle de décharge que peut fournir cet appareil ne mesure pas moins de 80 cm (écartement maximum que l'on pouvait donner aux pôles de l'appareil).

Le condensateur employé avec cet appareil était composé de 16 bouteilles de Leyde d'environ 5 litres, associées en quantité.

Dispositifs de M. d'Arsonval. — M. d'Arsonval a également utilisé le dispositif imaginé par M. Tesla en lui faisant subir quelques modifications (fig. 121).

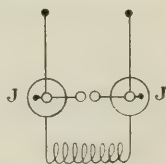


Fig. 121. — Courants de haute fréquence. Premier dispositif de M. d'Arsonval.

Les deux extrémités du secondaire d'un transformateur entretenu par un courant alternatif d'une fréquence égale à 42, sont reliées aux armatures internes de deux condensateurs constitués par de grandes jarres cylindriques J, J, de 50 cm de hauteur. Les armatures extérieures des jarres sont réunies par un solénoïde de gros fil de cuivre nu comprenant 20 tours

Un excitateur à sphères de laiton est disposé entre les armatures internes des condensateurs.

Le solénoïde de cuivre se trouve parcouru par des courants de très haute fréquence.

Une autre disposition des deux condensateurs a été également utilisée par M. d'Arsonval. Les deux jarres sont disposées comme l'indique le schéma ci-contre (fig. 122).

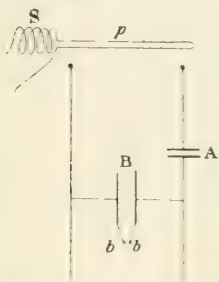


Fig. 122. — Courants de haute fréquence. Second dispositif de M. d'Arsonval.

L'un des condensateurs A est intercalé sur le conducteur issu d'un des pôles du transformateur alors que le second condensateur B est placé en dérivation sur les fils reliant les pôles du transformateur au circuit où l'on utilise les courants de haute fréquence. Les armatures de ce dernier condensateur sont reliées à deux boules *b*, *b*, entre lesquelles se produit la décharge oscillante. Les capacités des deux condensateurs doivent être soigneusement réglées l'une par rapport à l'autre.

Soufflage de l'étincelle. — Dans les dispositifs de M. d'Arsonval, le soufflage de l'étincelle de décharge qui, dans toutes ces expériences, est nécessaire pour obtenir des courants de haute fréquence, n'est obtenu ni par un champ magnétique comme dans les dispositifs de M. Tesla, ni par un courant d'air, comme dans ceux de M. E. Thomson. Il suffit d'introduire dans le primaire *p* du transformateur (fig. 122) utilisé, une bobine de self-induction S convenablement réglée. La présence de cette bobine produit le même effet qu'un soufflage parfait de l'étincelle.

Exploseur rotatif. — Lorsqu'on veut produire de puissants courants de haute fréquence, il est nécessaire de réaliser un soufflage très énergique de l'étincelle.

Au cours d'expériences récentes, M. d'Arsonval [1] a effectué le soufflage de l'étincelle par l'air. Pour des courants puissants ce procédé est le plus avantageux ; il refroidit en effet les boules entre lesquelles se produit la décharge et prévient ainsi une détérioration prématurée de l'exploseur. Si on le produit au moyen d'une soufflerie, ce moyen exige une très grande dépense d'énergie. Le travail nécessité par le fonctionnement de la soufflerie est en effet de beaucoup supérieur à celui employé à la rupture de l'étincelle par le jet d'air. — Pour obvier à cet inconvénient, M. d'Arsonval a eu l'heureuse idée suivante : Au lieu de laisser immobiles les boules de l'exploseur et de chasser violemment l'air entre elles à l'aide d'une soufflerie, ce sont les boules de l'exploseur que l'on déplace au sein de l'air d'un mouvement assez rapide pour que le soufflage de l'étincelle se produise. De cette façon on ne dépense pour le soufflage qu'une énergie mécanique à peine supérieure à celle réellement nécessitée pour produire cet effet. Les avantages du soufflage par l'air sont conservés, seuls les inconvénients disparaissent.

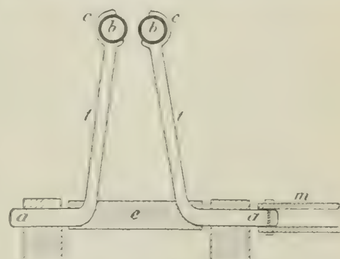


Fig. 123. — Exploseur rotatif.

Deux tiges métalliques *t*, *t* (fig. 123) portent les boules *bb* de l'exploseur. Ces boules sont disposées aux extrémités des tiges dans des cavités *c*, *c*, qui, formant genou, les retiennent et permettent d'utiliser successivement les différentes parties de la surface des sphères pour faire jaillir l'étincelle. Les tiges sont reliées à un

[1] D'Arsonval. (*Comptes rendus de l'Academie des Sciences*, 17 avril 1900.)

axe *aa*, dont la partie médiane *c*, est en ébonite. Cet axe est rendu solidaire de celui d'un petit moteur (machine dynamo) au moyen d'un manchon d'ébonite *m*. On peut ainsi communiquer à l'ensemble des boules et de leur support un mouvement de rotation qui fait décrire aux sphères des circonférences dont les diamètres varient de 30 cm à 2 m suivant la longueur donnée aux tiges *t*, *t*.

Ce dispositif produit un soufflage très énergique entre les deux boules. Lorsque l'exploseur en mouvement fonctionne on aperçoit une traînée lumineuse circulaire et les étincelles produisent un bruit strident très intense.

Les condensateurs utilisés par M. d'Arsonval avec cet exploseur étaient constitués par des plaques de micanite (mica et gomme laque) de 2 mm d'épaisseur, 365 mm de longueur et 285 mm de largeur séparant des armatures formées de minces feuilles de fer-blanc. Chaque feuille de micanite dépasse chaque armature de 5 mm. On employait deux condensateurs formés chacun d'un empilement de 20 plaques conductrices ainsi disposées. Chaque condensateur présentait une capacité de $0^{\mu f}01$ et les deux étaient plongés dans une cuve remplie de pétrole lampant. Les plans des lames conductrices et diélectriques étaient verticaux de manière que les interstices compris entre les lames fussent rapidement remplis de liquide isolant.

Les condensateurs ainsi disposés ne présentèrent aucun échauffement [1].

---

[1] M. d'Arsonval s'est également servi de l'exploseur rotatif pour souffler l'étincelle d'un transformateur réalisant le dispositif de M. E. Thomson (voir page 208 et fig. 120) et qui présentait les dimensions suivantes : Le circuit inducteur comprenait un tube de cuivre de 13 mm de diamètre extérieur et de 1 mm d'épaisseur formant 12 spires. Ce serpentin avait 80 cm de longueur et 50 cm de diamètre intérieur.

Le circuit induit, concentrique et intérieur au circuit inducteur était formé d'un fil de cuivre nu de 0,5 mm de diamètre et formant 400 tours. Ce fil était enroulé sur la surface extérieure d'un cylindre d'ébonite de

Dispositif de M. le Dr Oudin (1). — Le dispositif de M. le Dr Oudin ne diffère du premier dispositif de M. d'Arsonval que par les relations établies entre les armatures externes des jarres et la spire de gros fil dans laquelle circulent les courants de haute fréquence.

Comme dans le dispositif de M. d'Arsonval, les armatures intérieures A, B (fig. 124), de deux jarres de 50 cmq

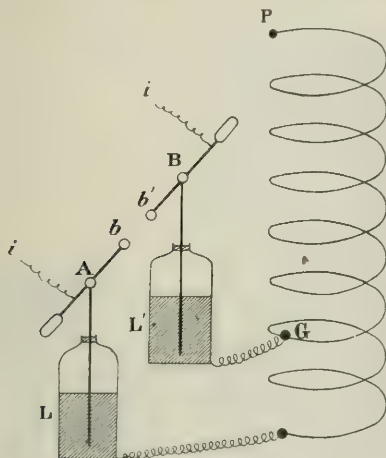


Fig. 124. — Courants de haute fréquence. Dispositif de M. le Dr Oudin.

de surface active sont reliées aux pôles d'une bobine d'induction. Elles sont d'autre part en communication avec les deux sphères *b*, *b'* d'un excitateur disposées dans l'huile et entre lesquelles éclatent des étincelles de décharge.

Un fil non isolé d'environ 60 m de longueur, de 0,003 m de diamètre, forme un solénoïde enroulé sur un cylindre de bois paraffiné ; l'écartement des spires est de 0,01 m. L'axe du cylindre est vertical et l'extrémité

0,80 m de longueur et 0,38 m de diamètre dans l'épaisseur duquel on avait creusé une hélice de 2 mm de pas et qui formait une gouttière contenant le fil induit.

(1) OUDIN. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 6 juin 1898.)

inférieure du solénoïde qui s'y trouve enroulé est reliée à l'armature extérieure de l'une des jarres. Un galet G qui peut se déplacer en restant en contact avec le fil du solénoïde suit les spires inférieures, il est réuni par un fil

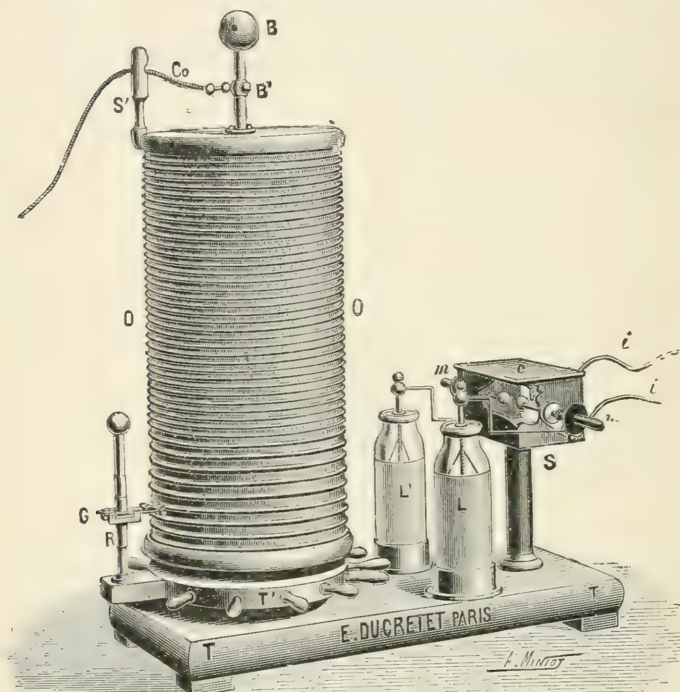


Fig. 125. — Ensemble du dispositif de M. le Dr Oudin.

souple à l'armature extérieure de la seconde jarre. Enfin l'extrémité libre du solénoïde est reliée à une boule P qu forme l'un des pôles de l'appareil, dont le galet mobile G constitue l'autre pôle.

On sépare ainsi le solénoïde en deux parties qui se font suite l'une à l'autre et dont on peut faire varier les longueurs par le jeu du galet G.

L'isolement complet des spires du solénoïde n'offre aucun intérêt. Quand le réglage de l'appareil est parfait on voit de son extrémité libre et de la dernière spire seulement jaillir les effluves dues à la tension élevée que produit l'appareil.

Il n'est pas indispensable de faire jaillir les étincelles au sein de l'huile. On peut les faire éclater dans l'air. Les sphères de l'exploseur peuvent être recouvertes de platine sur les portions des surfaces entre lesquelles éclatent les étincelles. On assure ainsi à l'exploseur une plus longue durée.

La figure 125 représente l'ensemble du dispositif ; les fils *i*, *i* sont reliés aux deux pôles d'une bobine d'induction.

Appareils dits bipolaires. — M. O. Rochefort a associé

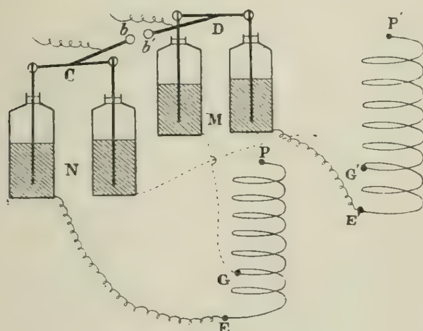


Fig. 126. — Dispositif de M. le Dr Oudin. Appareil bipolaire de M. O. Rochefort.

deux des dispositifs de M. le Dr Oudin et réalisé ainsi ce qu'il nomme un *résonateur bipolaire.*

Les condensateurs (bouteilles de Leyde) sont au nombre de quatre, reliés deux à deux en batterie. Les armatures intérieures de l'un des couples C (fig. 126) communiquent avec une des sphères *b* de l'exploseur ; celles de l'autre couple D sont reliées avec la seconde sphère *b'*. Quant

aux armatures externes elles sont reliées chacune à deux solénoïdes, semblables au précédent décrit, de la manière suivante :

L'une des armatures externes du couple N est reliée à l'extrémité inférieure E de l'un des solénoïdes. De même l'une des armatures externes du couple M est reliée à l'extrémité inférieure E′ du second solénoïde. — La seconde armature externe du premier couple N, est reliée au galet G′ du second solénoïde alors que la seconde armature externe du deuxième couple M, est reliée au galet G du premier solénoïde.

Les extrémités libres P, P′ forment les deux pôles du dispositif. Ces pôles sont chacun, comme dans le cas du dispositif du Dr Oudin, le siège d'effluves qui deviennent très puissants lorsqu'on règle convenablement la position des galets GG′ sur les spires inférieures des solénoïdes.

Si l'on rapproche l'un de l'autre les fils reliés aux deux pôles, on constate que les deux effluves produits s'attirent et l'on obtient ainsi de très longs effluves. — Les effluves se repoussent au contraire si l'on change les

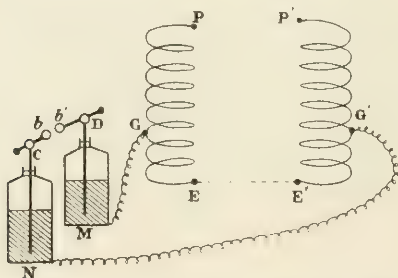


Fig. 127. — Second dispositif d'appareil bipolaire.

connexions des solénoïdes avec les armatures externes des condensateurs, si l'on met en G′ le fil qui était relié à E′ et en E′ celui qui était relié à G′.

On peut supprimer les deux fils NE, ME′ qui réunis-

sent les extrémités des solénoïdes aux condensateurs, et réunir entre eux les deux solénoïdes ; c'est le dispositif représenté par la figure 127. On utilise alors deux bouteilles de Leyde au lieu de quatre.

En employant un transformateur Wydts-de Rochefort pouvant donner 50 cm d'étincelle, M. Rochefort a obtenu avec une dépense de 144 watts (24 volts-6 ampères) des effluves de 50 cm de longueur entre les deux pôles de l'appareil.

M. Lebailly a réalisé également un dispositif qu'il appelle *résonateur bipolaire* en ne se servant que d'un

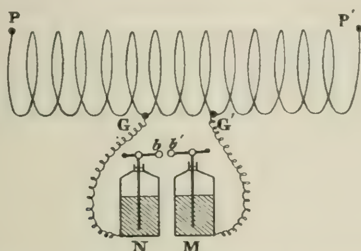


Fig. 128. — Appareil bipolaire de M. Lebailly.

seul solénoïde (fig. 128) dont les extrémités P, P′ sont libres et forment les pôles du dispositif. Deux galets G, G′, mobiles le long des spires sont disposés près de la spire médiane et séparés l'un de l'autre par quelques spires seulement. — Par un réglage convenable on obtient aux deux pôles de l'appareil des effluves puissants qui s'attirent mutuellement.

Transformateur à haut voltage à survolteur cathodique de M. P. Villard. — Tout récemment [1], M. P. Villard a indiqué un dispositif des plus ingénieux permettant d'éliminer une des alternances qui se produi-

---

[1] P. Villard. (*Journal de Physique*, janvier 1901.)

sent entre les bornes du circuit induit d'un transformateur alimenté par un courant alternatif. — Nous indiquons ici ce dispositif à cause de l'intérêt qu'il présente pour l'obtention des courants de haute fréquence lorsqu'on ne dispose que d'une distribution par courants alternatifs.

Soupape cathodique. — Ce dispositif utilise les propriétés que présente un des tubes à vide, de construction si ingénieuse, que M. Villard a imaginé : la *soupape cathodique* (1). Une ampoule de 400 cm^3 de capacité porte deux électrodes ; l'une N est formée par une spirale assez longue faite d'un fil d'aluminium, l'autre est un disque P de quelques millimètres de diamètre engagé dans un tube étroit, légèrement étranglé en avant du disque de manière à gêner l'afflux d'alimentation cathodique. —

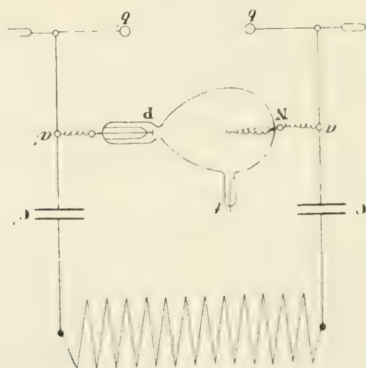


Fig. 129. — Transformateur à survolteur cathodique de M. P. Villard. Élimination d'une des alternances.

Lorsqu'on fait fonctionner un semblable tube en prenant N pour cathode, l'étincelle extérieure équivalente au tube ne mesure que 1 mm alors qu'elle atteint 15 mm

(1) P. Villard. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 17 avril 1899.)

lorsque, toutes choses égales d'ailleurs, on prend P pour cathode.

On obtient donc avec ce tube, en alternant ses pôles, à volonté le phénomène de Geissler ou celui de Hittorf.

Pour éliminer une des alternances à l'aide de la soupape cathodique, M. P. Villard indique le moyen suivant. Les extrémités du circuit induit du transformateur sont reliées chacune à l'une des armatures d'un condensateur à micanite C, C' (fig. 129). Les deux autres armatures sont respectivement reliées aux boules *b*, *b'* de l'exploseur. Le tube formant soupape est disposé entre *a* et *a'*. — Dans ces conditions lorsque N est cathode le tube offre une cohésion diélectrique insignifiante, lorsqu'au contraire N devient anode le tube se montre capable de résister à une différence de potentiel de 60 000 volts. L'une des alternances passe donc par le tube, alors que l'autre y trouve un obstacle qu'elle ne peut surmonter et passe par l'exploseur en formant étincelle entre les boules *b*,*b'*.

Si l'on ne fait pas usage de la soupape on obtient entre les deux boules *b*, *b'* une étincelle de 9 cm seulement. En insérant le tube entre les conducteurs *a*, *a'*, on peut produire entre *b* et *b'* une étincelle de 18 cm. Cette étincelle atteint 24 cm si on la fait éclater entre deux pointes.

Pour donner plus d'élasticité aux soupapes il est bon d'en relier deux en série entre *a* et *a'*. — L'entretien de ces soupapes est très simple. Elles sont munies sur le côté d'un tube de platine *t* qu'il suffit de chauffer dans une flamme pour introduire dans la soupape un peu d'hydrogène. L'utilité de cette opération se reconnaît à ce que les rayons cathodiques émanés de N deviennent assez énergiques pour produire la fluorescence du verre de l'ampoule.

On peut, comme le montre la figure 130 disposer aux pôles du même transformateur deux exploseurs entre les-

quels on obtient d'une part des étincelles dues à l'une des alternances, d'autre part des étincelles dues à l'autre alternance. On constate que ces exploseurs fonctionnent

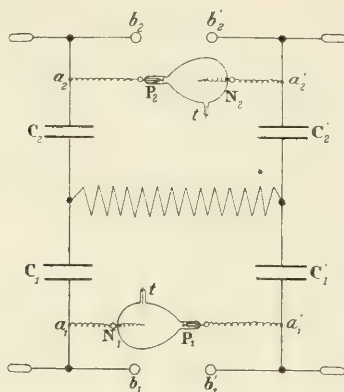


Fig. 130. — Transformateur à survolteur cathodique de M. P. Villard. Séparation des deux alternances.

indépendamment l'un de l'autre, si bien qu'on peut obtenir une longue étincelle entre les deux boules de l'un alors qu'on produit une étincelle courte entre les pôles de l'autre.

CHAPITRE VI

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A L'ÉCLAIRAGE

La production de phénomènes lumineux au moyen des ondes électriques peut être obtenue soit par l'utilisation directe de champs d'oscillations produits par de simples excitateurs hertziens, soit encore par la mise en œuvre des divers dispositifs permettant de produire des courants de haute fréquence.

Les effets lumineux produits à l'aide des ondes électriques sont de deux sortes. Les premiers consistent dans l'incandescence de filaments de lampes électriques ordinaires, incandescence obtenue en utilisant les courants de haute fréquence produits eux-mêmes par les ondes électriques. Les seconds sont des phénomènes de luminescence obtenus en disposant d'une manière convenable des tubes à gaz raréfié dans un champ d'oscillations électriques.

I. — ENTRETIEN DE LAMPES A INCANDESCENCE PAR LES COURANTS DE HAUTE FRÉQUENCE

Expériences de M. Elihu Thomson (1). — M. E. Thomson a fait servir les dispositifs que nous avons

(1) ELIHU THOMSON. (*Electrical Engineer*. (New-York), février 1892.)

décrits au chapitre précédent à l'entretien de l'incandescence de lampes à filaments. Les dispositions des expériences sont assez diverses, elles peuvent être rapportées à deux genres différents suivant que les circuits comprenant les lampes sont reliés ou non aux conducteurs sièges des courants de haute fréquence produits par la décharge oscillante.

Première disposition. — *Lampes placées en dérivation sur les circuits parcourus par les courants de haute fréquence.* — A ce genre de disposition doit être rapportée l'expérience suivante dans laquelle M. E. Thomson utilise un dispositif rappelant celui décrit page 206.

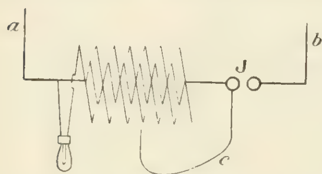


Fig. 131. — Lampe placée en dérivation sur un circuit parcouru par des courants de haute fréquence.

Comme l'indique le schéma du montage représenté par la figure 131 les deux bobines à gros fil comprenant l'une 12 spires, l'autre 20 spires, communiquent par une de leurs extrémités. L'extrémité libre de la bobine intérieure est reliée à l'une des boules d'un excitateur J. Les fils *a*, *b* reliés aux armatures d'un condensateur, permettent de faire passer la décharge à travers la bobine intérieure. Un conducteur C, issu de la boule en relation avec la bobine intérieure, peut être relié à l'une quelconque des spires de l'enroulement extérieur. La bobine extérieure se trouve ainsi, en totalité ou en partie, placée en dérivation sur le circuit comprenant la bobine intérieure. C'est sur le circuit de la bobine extérieure qu'est intercalée une lampe à incandescence. Lorsque le condensateur se décharge et qu'on fait arriver en J un jet d'air sur l'étincelle de décharge, on constate que le filament de la lampe L devient incandescent. En faisant varier le point d'attache du fil C sur l'enroulement extérieur on constate

que l'éclairement de la lampe L varie, et l'on peut ainsi soit exagérer l'incandescence du filament et le rendre éblouissant, soit diminuer l'éclairement produit par la lampe jusqu'à le rendre nul.

Une disposition analogue à la précédente est représentée par la figure 132. L'enroulement extérieur B, comprenant 20 spires est encore placé en dérivation sur l'enroulement intérieur. Comme dans l'expérience précédente les lampes L, au nombre de trois, sont placées dans le circuit de l'enroulement extérieur. Mais ici on fait varier

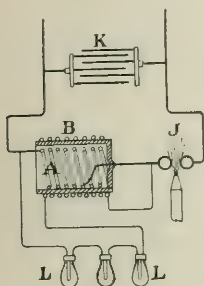


Fig. 132. — Eclairage par les courants de haute fréquence. Dispositif de M. Elihu Thomson.

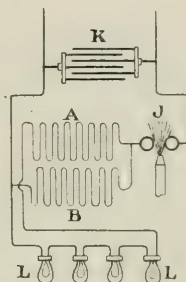


Fig. 133. — Eclairage par les courants de haute fréquence. Lampes placées en déviation sur le circuit des courants.

le nombre de tours de la bobine intérieure A, au moyen du contact glissant que l'on voit sur la figure. Les lampes sont très brillamment illuminées lorsque l'étincelle de décharge du condensateur K qui se produit en J est soufflée par un violent courant d'air.

On obtient les mêmes effets en plaçant les lampes L dans le circuit de la bobine A qui contient moins de tours (12 spires) de fil que la bobine extérieure B. La figure 133 indique le montage des lampes dans ce cas.

Enfin en utilisant les courants de haute fréquence qui parcourent les bobines A et B, M. E. Thomson a pu produire l'incandescence du filament d'une lampe de

100 volts placée, comme l'indique la figure 134, en dérivation sur quelques spires de la bobine B.

Il a pu également produire l'incandescence de 4 lampes en ne se servant que d'une bobine A. Comme le montre

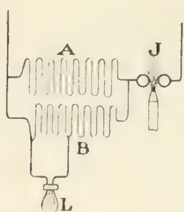


Fig. 134. — Lampe placée en dérivation sur quelques spires d'une bobine parcourue par des courants de haute fréquence.

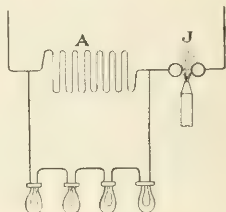


Fig. 135. — Emploi d'une seule bobine. Lampes placées en dérivation sur les bornes de la bobine.

la figure 135 les lampes sont placées en dérivation sur la bobine A. Cette bobine comprend 15 à 20 tours de gros fil d'à peu près 7 mm de diamètre ; les spires de la bobine ont un diamètre de 16 cm.

Dans toutes ces expériences les effets lumineux produits sont d'autant plus brillants que le condensateur employé K a une capacité plus grande, que l'étincelle de décharge qui se produit entre les boules de l'excitateur J est plus longue et que le jet d'air qui sert à souffler cette étincelle est plus vigoureux.

Seconde disposition. — *Lampes disposées sur un circuit voisin du circuit de décharge.* — On peut également produire l'incandescence de lampes disposées sur un circuit parallèle à celui dans lequel se produit la décharge oscillante du condensateur. Il n'y a plus alors aucune communication métallique entre le circuit comprenant les lampes et celui dans lequel on produit les courants de haute fréquence. Le circuit des lampes joue le rôle de circuit secondaire par rapport à celui de la décharge considéré comme circuit primaire.

C'est ainsi qu'on peut produire l'incandescence du filament d'une lampe L (fig. 136) en reliant les deux extrémités d'une spire placée dans le voisinage de la bobine A. Dans une expérience de M. E. Thomson une lampe de 25 volts ainsi disposée manifestait le même éclairement que celui que lui eut donné un courant continu de 2 ampères fourni par une source de 25 volts. La lampe s'allume dès que le jet d'air est en action en J; elle s'éteint si l'étincelle de décharge qui se produit en J n'est pas soufflée.

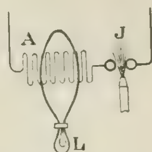


Fig. 136. — Second dispositif. Lampe reliant les extrémités d'une spire voisine du circuit parcouru par les courants de haute fréquence.

Les mêmes phénomènes sont observés en disposant la lampe un peu différemment dans le circuit parallèle à la bobine A. Ce circuit se compose de quelques spires de fil et la petite bobine B ainsi formée est fermée sur elle-même à l'aide d'un gros fil à faible résistance W. La lampe L (fig. 137) est établie

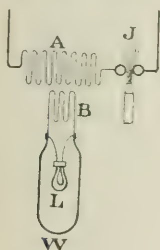


Fig. 137. — Lampe disposée sur un circuit voisin de celui parcouru par les courants de haute fréquence.

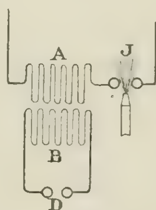


Fig. 138. — Dispositif de production d'un arc par les courants de haute fréquence.

sur un pont joignant les points d'attache des extrémités de la bobine B avec le fil W. Dans ces conditions la lampe s'illumine si l'étincelle de décharge J est soufflée. Les effets sont pratiquement nuls si l'on arrête le jet d'air en J.

L'expérience suivante semble montrer qu'il serait pos-

sible d'entretenir une lampe à arc en activité, en utilisant les mêmes phénomènes par des appareils plus puissants.

Autour de la bobine A (fig. 138), comprenant 10 spires, dans le circuit de laquelle se produit la décharge, est enroulée une bobine B de 20 spires, dont les extrémités sont reliées à deux boules D. L'étincelle de décharge étant violemment soufflée en J, on obtient en D de grosses étincelles dont la longueur peut atteindre deux centimètres. Dans cette expérience la distance entre les boules de l'excitateur J est de 7 mm.

De même que pour les expériences réalisées avec la première disposition les effets lumineux produits sont d'autant plus marqués que le condensateur K a une plus grande capacité et que l'étincelle en J est plus longue et le jet d'air plus vigoureux.

Aussi M. E. Thomson propose-t-il de faire en sorte que la décharge au lieu de se produire entre deux boules seulement, comme dans les dispositifs précédents, se produise entre toute une série de boules placées côte à côte (fig. 139) chaque intervalle compris entre deux boules consécutives étant muni d'une tuyère dirigeant un violent jet d'air. Dans ces conditions les appareils producteurs des courants de haute fréquence doivent être rendus plus puissants.

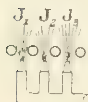


Fig. 139. — Dispositif de souffleur à plusieurs tuyères.

II. — ILLUMINATION DES TUBES A GAZ RARÉFIÉS PRODUITE PAR LES ONDES ÉLECTRIQUES

Si l'on approche d'une des plaques d'un excitateur de Hertz en activité un tube à gaz raréfié, tube de Geissler, radiomètre de Crookes, lampe à incandescence, l'intérieur de ces appareils s'illumine. L'illumination est d'autant plus forte que le tube est plus voisin de la plaque d'excitateur.

L'approche d'un conducteur, ou même de la main, de la paroi extérieure du tube à gaz raréfié augmente l'illumination produite.

Le même phénomène d'illumination des tubes à gaz raréfié s'observe quand on approche ces appareils des fils concentrant le champ hertzien produit par un excitateur en activité. M. Zehnder, puis M. Lecher ont, comme nous l'avons vu, utilisé ce phénomène à la recherche des ventres et des nœuds successifs qui se produisent dans un champ d'oscillation concentré par deux fils conducteurs parallèles.

Expériences de M. Tesla [1]. — S'il est possible de produire l'illumination de tubes à gaz raréfié en les disposant dans le champ produit par un excitateur en activité, l'intensité des effets lumineux ainsi produits est relativement faible et l'éclairage qui en résulte des plus précaires.

En utilisant les dispositifs qu'il a imaginés pour produire des courants de haute fréquence au moyen des ondes électriques, M. Tesla est parvenu à produire une illumination très intense de tubes à gaz raréfié convenablement excités.

Les dispositions adoptées par M. Tesla au cours de ces expériences sont de deux sortes. Dans les premières, les tubes ou lampes, dans l'intérieur desquels un vide avancé a été fait, contiennent un conducteur qui est mis en relation avec l'un des pôles de la bobine à haute fréquence servant à produire les phénomènes. Dans les secondes, les tubes ou lampes sont complètement isolés des appareils qui produisent leur illumination.

Première disposition. — *Tubes mis en relation avec*

---

(1) Tesla. Institut américain des Ingénieurs électriciens de Columbia (*New-York*, 20 mai 1891).

l'un des pôles de la bobine à haute fréquence. — Les tubes ou lampes utilisés par M. Tesla contiennent à leur intérieur une boule ou un fil conducteur. Ce conducteur communique avec une borne extérieure à la lampe qui ne possède ainsi qu'un seul pôle, d'où le nom de *lampe unipolaire* donné par M. Tesla à cet appareil.

Comme l'indique le schéma de la figure 140 qui reproduit pour plus de clarté le dispositif de production des

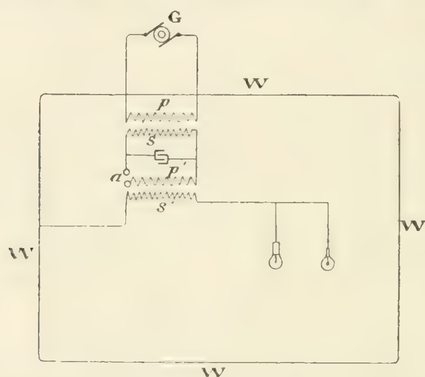


Fig. 140. — Illumination de lampes unipolaires par les ondes électriques. Dispositif de M. Tesla.

courants de haute fréquence, les lampes unipolaires (au nombre de deux dans la figure), sont reliées à l'un des pôles du transformateur de M. Tesla. L'autre pôle demeure isolé. On obtient une illumination plus brillante des lampes en reliant le pôle libre du transformateur aux murs de la pièce où l'on fait l'expérience. Dans ce cas les murs doivent être recouverts de substances métalliques (feuilles d'étain) afin d'être suffisamment conducteurs.

Lampes unipolaires de M. Tesla. — Les lampes de M. Tesla peuvent être construites de différentes manières. Nous décrirons les dispositions suivantes :

La lampe représentée par la figure 141 se compose d'une ampoule *b* dans laquelle on a fait le vide et au

centre de laquelle se trouve une boule conductrice *e* en communication avec un fil métallique soudé dans le verre et qui est relié à la borne de la lampe. Hors de l'ampoule le fil est protégé par un isolant *h* ; à l'intérieur le fil de suspension est isolé par un tube *k* en matière réfractaire

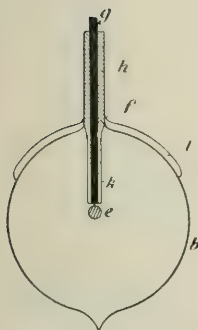


Fig. 141. — Lampe unipolaire de M. Tesla.

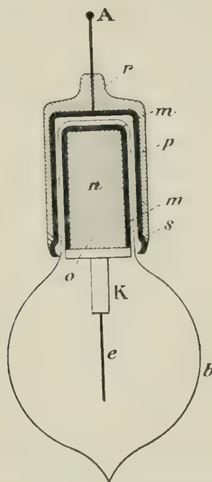


Fig. 142. — Lampe unipolaire de M. Tesla. Second dispositif.

(terre de pipe). Un réflecteur métallique *l* est figuré à l'extérieur de la lampe.

Un autre type de lampe (fig. 142) contient une tige de charbon *e* reliée par l'intermédiaire de la pièce K et du plateau conducteur *o* à un cylindre *m* métallique entourant un mandrin isolant *n*. Le tout est situé à l'intérieur du col cylindrique de l'ampoule de verre *b*. Ce col se fixe dans une monture en matière isolante *r*, *p* garnie intérieurement d'une feuille métallique *s* communiquant avec le pôle A de la source. La garniture métallique *s* et le tube *m* forment ainsi les armatures d'un condensateur.

Enfin dans le but d'avoir à l'intérieur de la lampe une

surface bien réfléchissante, M. Tesla la forme d'un tube de verre fermé à un bout et pénétrant dans une ampoule de lampe à incandescence. L'extrémité ouverte du tube est soudée au col de l'ampoule (fig. 143) ; à l'intérieur du tube une feuille de cuivre enroulée en spirale communique avec un des pôles de la source. La dernière

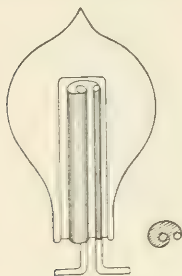


Fig. 143. — Lampe unipolaire à pôle formant surface réfléchissante.

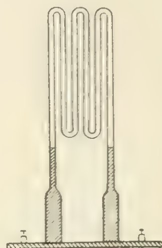


Fig. 144. — Dispositif de tube à gaz raréfié.

spire de la feuille de cuivre est recouverte d'une mince couche d'argent qui la rend bien réfléchissante.

Ces divers modèles de lampes, reliés à l'un des pôles de la bobine à haute fréquence, s'illuminent. Il en est de même d'un tube à gaz raréfié tel que celui de la figure 144. Dans un semblable tube l'éclat va en diminuant depuis l'extrémité reliée au pôle de la source jusqu'à l'autre extrémité. Il suffit toutefois de relier cette extrémité libre à un corps conducteur de surface convenable pour que l'éclat du tube présente la même intensité dans toute son étendue. Il en est de même d'une lampe munie de deux tiges ou de deux perles de charbon au lieu d'une seule (fig. 145). Si l'on relie d'abord l'une des tiges à l'un des pôles de la bobine, cette tige devient fortement incandescente et la lampe s'illumine tandis que la seconde tige s'éclaire moins forte-

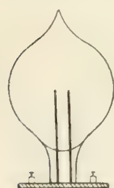


Fig. 145. Lampe bipolaire de M. Tesla.

ment. Mais il suffit de relier le second charbon à une surface conductrice convenable pour voir les deux charbons briller également et la lampe s'illuminer dans toute son étendue.

M. Tesla est parvenu à rendre l'illumination des ampoules qu'il emploie encore plus intense soit en disposant à l'intérieur des matières phosphorescentes, sulfure de calcium, yttria, etc., soit en les formant de tubes de verre enduits à leur surface interne de substances phosphorescentes.

Comme nous venons de le voir, une lampe à deux charbons s'illumine d'une manière plus régulière si on relie

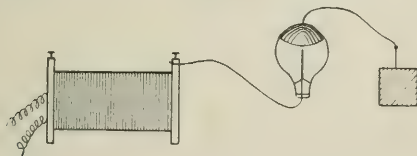


Fig. 146. — Dispositif représentant les connexions d'une lampe unipolaire à calotte métallique.

le deuxième charbon avec une plaque formant capacité. De même, l'illumination qui se produit dans une des lampes unipolaires précédemment décrites (fig. 141 et 142) est plus complète si l'on a soin de recouvrir une portion de l'ampoule d'une calotte métallique mise en communication avec une capacité. Les connexions sont représentées par la figure 146.

Cette propriété remarquable permet de faire varier à volonté l'éclat d'une lampe unipolaire. M. Tesla a très heureusement profité de la nécessité d'ajouter une capacité à chaque lampe pour en augmenter la puissance en faisant jouer le rôle de capacité à un abat-jour Z servant de réflecteur (fig. 147).

Dans ce modèle de lampe unipolaire, *m* est le bouton de carbone rendu incandescent (charbon préparé à la

façon des filaments de lampes ordinaires à incandescence ou *carborundum*). Le filament qui sert de support à cette boule *m* est représenté en *l*, il est attaché au fil conducteur *f* traversant la tige isolante *s* et aboutissant à la

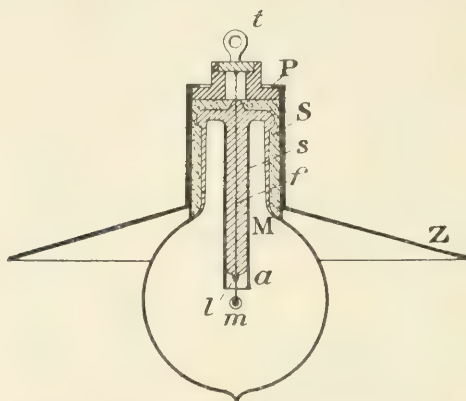


Fig. 147. — Lampe unipolaire à réflecteur.

borne *t* de la lampe. Une feuille mince de mica M entoure la tige *s* et supporte un tube mince d'aluminium *a* dont le rôle serait, d'après M. Tesla, de localiser l'effet radiant sur le bouton *m* et de servir d'écran protecteur au filament *l*. Un tube métallique S cimenté autour du col de l'ampoule porte l'abat-jour condensateur Z. Une douille isolante P sépare le tube S de la borne de la lampe.

Seconde disposition. — *Tubes isolés placés dans un champ à haute fréquence.* Non seulement les tubes construits par M. Tesla s'illuminent lorsqu'ils sont mis en relation avec l'une des bornes du transformateur à haute fréquence, mais une illumination d'un éclat notable se produit dans ces appareils lorsqu'ils sont au voisinage d'un pôle du transformateur. Cette illumination s'accroît si le pôle du transformateur est mis en communication avec une plaque métallique de large surface et que le tube ou la lampe unipolaire est approché de cette surface.

L'illumination se produit encore à une distance assez grande de la plaque (15 à 20 cm). Elle s'accroît par tous les dispositifs qui augmentent l'éclat des lampes dans la première disposition : mise en communication de la lampe ou de la calotte conductrice la recouvrant avec une capacité, présence de substances phosphorescentes à l'intérieur des tubes à gaz raréfié.

Une lampe à double ampoule, l'une intérieure à l'autre (fig. 148), l'espace intermédiaire étant raréfié à un degré moindre que l'ampoule interne, s'illumine avec beaucoup d'éclat dans le champ entourant une plaque métallique reliée à l'un des pôles du transformateur de M. Tesla.

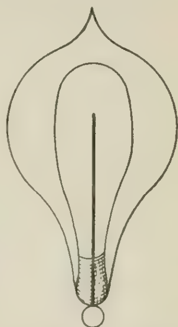


Fig. 148. — Lampe unipolaire à double ampoule.

Mais il n'est pas nécessaire que les tubes ou lampes à gaz raréfié qu'on dispose ainsi dans le champ produit par les dispositifs de M. Tesla soient munis d'électrodes. Des tubes qui ont simplement été purgés d'air avec beaucoup de soin et fermés à la lampe s'illuminent dès qu'ils sont placés dans le champ.

En suspendant une plaque métallique d'environ 3 m de longueur et 35 cm de largeur à deux mètres et demi du sol, et en la reliant à l'un des pôles du transformateur dont l'autre pôle est mis en communication avec le sol, on forme un champ très intense dans lequel des tubes de un mètre de long, sans électrodes, simplement tenus à la main, s'illuminent dans toute leur longueur d'une lueur assez intense pour produire l'éclairement.

M. Tesla, s'appuyant sur les résultats de ces très intéressantes expériences, préconise comme mode d'éclairage d'une pièce la production à l'intérieur de cette pièce d'un champ d'actions du genre de celles que pro-

duit son transformateur. Ce champ devrait être suffisamment intense pour que l'appareil éclairant utilisé pût y être déplacé et restât allumé, quelque fût sa place, sans être lié par aucun conducteur.

La disposition représentée par le schéma de la figure 149 indique un moyen d'obtenir l'illumination de tubes à gaz

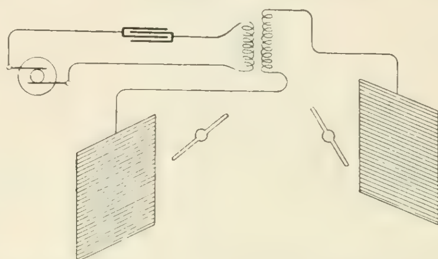


Fig. 149. — Illumination de tubes à gaz raréfiés par les courants de haute fréquence.

raréfié placés dans l'intervalle compris entre deux plaques métalliques reliées chacune à un pôle du transformateur. Si la surface de ces feuilles est convenablement déterminée, les tubes à gaz s'illuminent dans tout l'espace qu'elles comprennent.

Expériences de M. Mac Farlan Moore (1). — En utilisant des procédés analogues, M. Mac Farlan Moore est arrivé à éclairer une salle garnie de tentures blanches et pouvant contenir 50 spectateurs. L'éclairage était produit par 14 tubes à gaz raréfié disposés aux angles de la salle, au plafond et au centre. Les murs étaient également garnis de motifs lumineux formant décoration.

La répartition des tubes produisait une lumière très uniforme et suffisamment intense pour permettre aux spectateurs de lire sans difficulté ni fatigue.

---

(1) Mac Farlan Moore. (*Annales du laboratoire de Newark* (New-Jersey), 1897.)

Le problème de l'éclairage par les ondes électriques. — Si l'on peut considérer le mode de communication à petite distance au moyen des ondes électriques, préconisé par M. Marconi, comme définitivement pratique et susceptible d'être exploité industriellement, il n'en est pas encore de même de l'application des ondes électriques à l'éclairage.

Les expériences de M. Tesla, les essais d'éclairage de M. Mac Farlan Moore, ne semblent pas susceptibles, sans perfectionnements nouveaux, de permettre l'utilisation pratique de ces procédés à l'éclairage. En dehors de la difficulté qu'il y aurait à créer dans chacune des pièces d'un appartement un champ d'actions suffisamment intense pour y permettre l'entretien en tout lieu de tubes à gaz raréfié, les modes de production actuels des courants de haute fréquence ne semblent pas permettre, sans pertes énormes, le transport de ces courants en des points éloignés des appareils qui les produisent.

Mais en admettant même que la transformation des courants utilisés actuellement dans l'industrie en courants de haute fréquence soit opérée au voisinage des lieux à éclairer, les procédés décrits au chapitre précédent permettant de produire ces courants semblent encore bien coûteux si on les compare à ceux qui permettent l'éclairage électrique ordinaire. Les expérimentateurs qui ont fait des essais d'éclairage en employant ces procédés nouveaux ne paraissent pas s'être rendus compte de la dépense d'énergie électrique nécessitée par leurs expériences. Il eût été intéressant de comparer cette dépense avec celle qu'aurait nécessité la mise en œuvre des procédés usuels (arcs, lampe à incandescence) pour produire un éclairage d'intensité sensiblement égal.

Il est à croire que dans les expériences de M. Tesla la dépense faite était de beaucoup supérieure à celle qu'eût nécessité un éclairage de même intensité produit par les

procédés ordinaires. La connaissance du rapport existant entre les deux dépenses, tant en ce qui concerne les expériences de M. Tesla qu'en ce qui concerne les expériences plus récentes de M. Mac Farlan Moore, eût permis de se rendre compte si les dispositions employées par ce dernier expérimentateur réalisaient un progrès sur celles indiquées par le promoteur de ce nouvel éclairage électrique.

Quant au procédé d'éclairage par incandescence au moyen des courants de haute fréquence, préconisé par M. Elihu Thomson, il se heurte dans la pratique aux mêmes difficultés que celui d'illumination des tubes à gaz raréfié (impossibilité de transporter, sans pertes énormes, les effets loin des appareils producteurs, difficulté de produire les effets sans grande dépense). De plus, ce mode d'éclairage ne rendrait pas la lampe complètement indépendante de tout appareil électrique.

Quoi qu'il en soit et bien que les expériences de M. Tesla et de M. Elihu Thomson doivent être regardées comme des recherches de laboratoire, il semble cependant qu'elles peuvent être considérées comme contenant en germe une application des ondes électriques susceptible, grâce à d'heureux perfectionnements, de devenir pratique.

APPENDICE

I. — RADIO-CONDUCTEURS OU COHÉREURS

ESSAI CRITIQUE SUR LES THÉORIES DE LA RADIOCONDUCTION

L'organe essentiel de réception employé dans les dispositifs de la télégraphie sans fil consiste le plus généralement en un tube à limaille conductrice compris entre deux électrodes. Ce tube peut d'ailleurs être remplacé par toute disposition réalisant un contact imparfait entre deux ou plusieurs conducteurs.

L'étude des modifications qu'un ébranlement sonore fait éprouver à un contact imparfait a conduit Hughes à l'invention du microphone.

L'étude des modifications qu'une décharge électrique oscillante fait éprouver aux contacts imparfaits réalisés par une colonne de limaille métallique a conduit M. Branly à l'invention du radio-conducteur ou cohéreur.

Le nom de *radio-conducteur* donné par M. Branly au tube à limaille ne présume rien sur le mode de fonctionnement du dispositif. Il rappelle seulement que l'appareil devient conducteur sous l'influence de radiations électriques, ce qui est l'expression même du fait observé.

Le nom de *cohéreur* donné par M. Lodge au tube à limaille semble indiquer que, sous l'influence des ondes électriques, les divers grains de limaille qui constituent une colonne hétérogène de particules conductrices séparées, ont subi une adhérence, une cohésion de telle

sorte que la colonne de limaille peut être en quelque sorte assimilée, après qu'elle a subi l'action des ondes, à un conducteur homogène.

Diverses explications du phénomène que présentent les tubes à limaille ont été proposées. Nous allons les passer brièvement en revue et nous indiquerons à la suite de chacune d'elle les faits d'observation qu'elle explique aisément et ceux qui la rendent douteuse ou qui l'infirment.

Explication de M. Branly. — M. Branly [1] admet que le diélectrique interposé entre les divers grains conducteurs de limaille devient lui-même conducteur sous l'*action passagère d'un courant de haut potentiel.*

D'après cette hypothèse, les ondes électriques rendraient conductrice la mince couche d'isolant qui sépare les particules de limaille. La *radio-conduction* serait due à une *conductibilité temporaire de l'isolant.*

M. Branly admet en outre que, lorsque deux conducteurs fermant un circuit sont amenés au voisinage immédiat l'un de l'autre, il n'est pas indispensable pour livrer passage à un courant électrique (même de faible intensité) que le contact parfait des deux conducteurs soit réalisé. Le passage du courant a lieu alors que les deux conducteurs sont encore à une certaine distance ρ. La production d'ondes électriques au voisinage du contact imparfait, a pour effet d'augmenter notablement la grandeur du rayon d'activité ρ.

Ainsi donc pour M. Branly un isolant peut devenir conducteur. Il suffit de le prendre sous une assez faible épaisseur. En général, dans une colonne de limaille métallique les lamelles isolantes qui séparent les grains

---

[1] BRANLY. *Comptes rendus de l'Academie des Sciences*, t. CXVIII, p. 348, 12 février 1894. — *Les Radio-conducteurs.* (Rapports présentés au Congrès international de physique de Paris, 1900, t. II, p. 325.)

conducteurs ont une épaisseur supérieure à cette épaisseur limite.

Les ondes électriques auraient pour effet d'augmenter la grandeur de cette épaisseur limite : une couche isolante d'épaisseur trop grande pour livrer passage à un courant donné, éprouve sous l'action des ondes électriques un changement qui équivaut à une diminution d'épaisseur.

Cette manière de concevoir le phénomène rend parfaitement compte du fonctionnement que présentent les radio-conducteurs qui reviennent d'eux-mêmes à leur état premier tel que le « cohéreur auto-décohérable » à poudre de charbon de M. Tommasina, tels que les radio-conducteurs à contact charbon-charbon, charbon-métal, métal-métal étudiés récemment par M. Ferrié (1). On conçoit en effet que chaque train d'ondes rendant conductrice la couche isolante en agissant sur elle comme si elle en diminuait l'épaisseur, le tube à limaille devienne conducteur pendant tout le temps qu'il reste soumis à l'action des ondes. On comprend également que dès que les ondes cessent d'agir, « *l'intervalle que l'isolant maintient* » (2) entre les particules conductrices redevienne résistant comme avant l'action des ondes.

Mais cette hypothèse, de la conductibilité de l'isolant, ne nous paraît pas rendre compte d'une manière complète du fonctionnement des radio-conducteurs ordinaires, tels que ceux de M. Branly, qui nécessitent une intervention étrangère (choc ou élévation modérée de température) pour reprendre la résistance qu'ils présentent avant l'action des ondes. Si la disparition de la résistance doit être seulement attribuée à la conductibilité de l'isolant

---

(1) G. Ferrié. *Sur les cohéreurs décohérents et sur un essai de théorie des cohéreurs en général.* Congrès international d'Électricité. *L'Éclairage Électrique*, t. XXIV, nº 39, 29 septembre 1900, p. 499.

(2) Branly. *Les radio-conducteurs, loc. cit.*, p. 338.

— conductibilité produite par les ondes — et si aucun mouvement des particules conductrices ni aucune liaison de ces particules ne s'est produite, le radio-conducteur doit reprendre sa résistance primitive lorsque les ondes cessent d'agir. Les lamelles isolantes ont en effet gardé leur épaisseur, supérieure à l'épaisseur limite pour laquelle la conductibilité de l'isolant a lieu. Les ondes ont cessé de produire sur ces lamelles isolantes l'action équivalente à une diminution d'épaisseur. Tout dans le tube à limaille doit donc être revenu dans le même état qu'avant l'action des ondes. S'il en est autrement, si le radio-conducteur ne reprend sa résistance primitive que sous l'action d'un choc, c'est qu'il a dû subir soit dans la disposition des particules, soit dans les liaisons de ces particules des changements que le choc est appelé à faire cesser.

On remarquera que les hypothèses de M. Branly sont ainsi susceptibles de rendre parfaitement compte du fonctionnement des radio-conducteurs qui reprennent spontanément leur résistance primitive alors qu'elles ne permettent pas une explication complète du fonctionnement des radio-conducteurs ordinaires. Elles n'expliquent pas en effet la nécessité du choc ou de l'élévation de température pour ramener ces radio-conducteurs à leur état primitif.

On peut, il est vrai, ajouter aux hypothèses de M. Branly la suivante : l'action des ondes électriques sur la mince couche diélectrique qui sépare les particules conductrices a pour effet de rendre conducteur le diélectrique non pas à la manière d'un conducteur ordinaire mais en y produisant une sorte de polarisation (1) que le choc a pour effet de faire disparaître.

---

(1) On a, par exemple, imaginé qu'à la faveur des oscillations électriques des ondes stationnaires se produisent entre les grains conducteurs. En dehors du fait que ces ondes stationnaires doivent disparaître lorsque

Bien qu'il soit peut-être un peu hasardeux de supposer que les ondes électriques produisent une polarisation du diélectrique, polarisation qui se conserve après la cessation de l'action de ces ondes, admettons cette dernière hypothèse. Nous nous rendons alors parfaitement compte du fonctionnement des radio-conducteurs nécessitant un choc pour revenir à leur premier état, mais nous éprouvons une difficulté pour expliquer d'une manière complète le fonctionnement des radio-conducteurs qui reprennent spontanément leur résistance primitive. Le même diélectrique, en effet, sépare les granules de charbon qu'étudient M. Tommasina, M. Ferrié et les grains de limailles métalliques que M. Branly a si ingénieusement disposés. Pourquoi les ondes polariseraient-elles d'une manière permanente ce diélectrique lorsqu'il est compris entre deux particules métalliques, et ne le polariseraient-elles plus que temporairement lorsqu'il se trouve limité par deux grains de charbon ?

Il faudrait alors admettre encore que cette polarisation produite par les ondes, ou du moins sa permanence, dépend de la nature du conducteur au voisinage duquel elle se produit. N'est-ce pas là faire jouer un rôle au conducteur ? C'est en tout cas rendre bien compliquées et bien nombreuses les hypothèses que nécessitent l'explication basée sur la seule considération de l'isolant.

Explication de M. Lodge. — Envisageons maintenant

---

cessent les oscillations qui les produisent, leur existence même nous paraît plus que douteuse. L'intervalle qui sépare les grains conducteurs d'une colonne de limaille est en effet beaucoup trop faible pour permettre l'établissement d'ondes électriques stationnaires. Il suffit pour s'en convaincre de considérer la longueur d'ondes des oscillations généralement utilisées dans les dispositifs de télégraphie sans fil. Ces longueurs d'onde sont, en effet, de beaucoup supérieures à celles produites par les dispositifs spéciaux de M. Righi, de M. Lebedew, de M. Bose (voir p. 15) qui eux-mêmes excitent des ondes dont la longueur serait encore bien trop grande pour permettre l'établissement entre les grains de limaille d'ondes électriques stationnaires.

l'explication qui fait intervenir le conducteur, et comment elle supporte le contrôle des faits observés.

M. Lodge admet que le phénomène présenté par les tubes à limaille sous l'action des ondes électriques est dû à la production entre les particules conductrices de très petites étincelles. Ces étincelles percent la couche diélectrique comprise entre les grains et entraînent des particules métalliques qui se soudent l'une à l'autre et forment un pont conducteur entre les grains de limaille.

Au lieu d'envisager une propriété particulière de l'isolant M. Lodge considère les particules conductrices et suppose qu'à la faveur des ondes électriques elles se déchargent les unes sur les autres, criblant les lamelles isolantes d'autant de petits filets conducteurs qu'il s'est produit de décharges et transformant ainsi la colonne hétérogène formée de grains conducteurs isolés les uns des autres en une colonne ne présentant plus au point de vue de la conductibilité aucune solution de continuité.

Pour M. Lodge, la *radio-conduction* serait due à une *cohésion* de la colonne de limaille qui présente alors une chaîne ininterrompue de conducteurs en parfait contact les uns avec les autres. De là, le nom de *cohéreur* donné par le savant électricien anglais au tube à limaille.

Réduite à ces seules hypothèses, l'explication de M. Lodge rend parfaitement compte du fonctionnement des cohéreurs nécessitant un choc tels que ceux de M. Branly, tels que ceux utilisés par M. Marconi, par M. Tissot. On conçoit fort bien la nécessité du choc pour rétablir la résistance primitive de la colonne de limaille. Le choc, en effet, disloque les petits ponts conducteurs établis entre les grains de limaille.

On oppose souvent, comme fait d'expérience non explicable dans cette manière de voir, celui du fonctionnement de radio-conducteurs constitués par d'intimes mélanges de limailles conductrices et de diélectriques fusibles

(soufre et limaille d'aluminium). Certains de ces mélanges qui ont la dureté du marbre n'en présentent pas moins le phénomène de la radioconduction comme de simples colonnes de limaille. Il nous semble au contraire que l'explication de M. Lodge rend aussi parfaitement compte du fonctionnement de ces cohéreurs que de celui des colonnes de limaille.

Ces crayons compacts contiennent en effet des grains conducteurs très voisins séparés par une couche d'isolant solide. Pourquoi la décharge dont on admet la production entre les grains de limaille à travers l'air à la faveur des ondes électriques, ne se produirait-elle pas, sous l'influence des mêmes ondes, à travers la couche isolante solide, peut-être moins épaisse que la couche d'air qui sépare les grains conducteurs d'une colonne de limaille. Ces radio-conducteurs d'ailleurs nécessitent, pour reprendre leur résistance primitive, un choc que leur dureté même rend plus énergique. Les ébranlements matériels que provoquent ce choc suffisent à disloquer les ponts conducteurs établis entre les grains métalliques disséminés dans l'isolant solide : d'ailleurs ces cohéreurs semblent bien moins sensibles que les tubes à limaille ordinaires. Cette diminution de sensibilité n'est-elle pas due à la difficulté plus grande qu'éprouve chaque décharge à percer la lamelle isolante solide ?

Si les radio-conducteurs en forme de crayons solides de M. Branly présentaient le phénomène de la décohésion spontanée, on eût pu tirer de ce fait un argument très puissant pour combattre la manière de voir de M. Lodge. Le fait qu'ils nécessitent un choc pour reprendre leur résistance primitive les range au contraire au nombre de ceux dont le fonctionnement s'explique aisément comme le propose M. Lodge.

L'explication du fonctionnement des cohéreurs à décohésion spontanée est peut-être un peu moins aisée

avec la manière de voir de M. Lodge. Elle nécessite en tout cas une hypothèse supplémentaire.

Pourquoi le choc n'est-il plus nécessaire dans le cas de ces cohéreurs particuliers ? Que deviennent les petits ponts conducteurs établis entre les grains de charbon par les décharges produites à la faveur des ondes électriques ? En ce qui concerne les cohéreurs nécessitant un choc, nous venons d'admettre que les très petites particules métalliques que l'étincelle de décharge étage entre les grains conducteurs se soudent les unes aux autres d'une manière assez forte pour que la brisure de la chaîne formée nécessite un choc. Il n'en est plus de même dans le cas des cohéreurs à décohésion spontanée. Nous devons supposer alors que les particules de charbon, qui réunissent les grains au moment de la cohésion, ne se soudent plus les unes aux autres ou que leurs soudures sont trop précaires pour qu'elles subsistent après l'action des ondes et pour qu'un pont conducteur reste établi entre les grains de charbon.

Bien que cette hypothèse ait un caractère un peu particulier, elle paraît assez acceptable. Elle s'accorde d'ailleurs fort bien avec le fait d'observation que, seuls, les cohéreurs à poudre de charbon ou à contact charbon-métal présentent nettement le phénomène de la décohésion spontanée. Si l'on se reporte à la très intéressante étude des cohéreurs faite par M. Ferrié [1], on constate que parmi les divers contacts étudiés, (charbon-charbon, métal-charbon, métal-métal, métal-liquide conducteur), les deux premiers présentent d'une manière bien nette et bien constante le phénomène de la décohésion spontanée. Le contact métal-métal ne présente le phénomène en question que d'une manière fugace. Le réglage du con-

(1) G. Ferrié. Congrès international d'Électricité. (*L'Éclairage Électrique*, t. XXIV, n° 39, 29 septembre 1900.)

tact est difficile, la durée précaire. Il semble que les limites entre le contact imparfait ne réalisant pas encore un cohéreur et le contact imparfait réalisant un cohéreur nécessitant un choc, sont trop voisines pour laisser aisément place à un contact imparfait réalisant un cohéreur à décohésion spontanée.

Si l'explication de M. Lodge rend aussi aisément compte du fonctionnement des cohéreurs nécessitant un choc que du fonctionnement des cohéreurs à décohésion spontanée, elle ne semble pas susceptible de rendre compte du fonctionnement des dispositifs que l'on désigne sous le nom d'anti-cohéreurs.

L'explication de M. Branly ne semble pas d'ailleurs devoir être plus heureuse à l'égard de ces derniers détecteurs d'ondes.

M. Branly a réalisé, dès 1891 [1] des radio-conducteurs à accroissement de résistance. — Si le terme de radio-conducteur donné à tous les détecteurs d'ondes électriques est très acceptable comme n'exprimant que l'observation d'un fait, l'explication de M. Branly sur le rôle de l'isolant semble encore moins convenir aux radio-conducteurs à accroissement de résistance qu'aux radio-conducteurs nécessitant un choc. Il est vrai de dire que l'explication de M. Lodge se heurte à la même difficulté.

Remarque de M. Righi. — M. Righi a cru devoir compléter l'explication donnée par M. Lodge par l'admission d'une hypothèse complémentaire : la possibilité de petits mouvements des particules conductrices [2]. Ces mouvements auraient pour effet de ranger les grains conducteurs d'une colonne de limaille en chaîne conductrice offrant une suite de contacts parfaits.

---

[1] E. Branly. (*Société française de Physique*, avril 1891.)

[2] A. Righi. *Les ondes hertziennes.* (Rapports présentés au Congrès international de physique de Paris, 1900, t. II, p. 308.)

Ce complément à l'explication de M. Lodge ne nous paraît nullement nécessaire. Il est même, si on le soumet au contrôle de l'expérience, de nature à restreindre la généralité de l'explication de M. Lodge en mettant cette explication ainsi complétée en désaccord absolu avec des faits très nets d'observation.

Il sera difficilement acceptable, en effet, comme le fait remarquer M. Branly, que les grains conducteurs de radio-conducteurs constitués par des crayons solides formés d'un mélange compact de limaille et d'isolant, éprouvent de semblables mouvements. L'explication de la radio-conduction présentée par des colonnes de disques métalliques, par des rangées de lourdes billes d'acier, très acceptable avec les seules hypothèses de M. Lodge, devient inacceptable avec l'hypothèse de M. Righi.

On a très souvent présenté comme preuves à l'appui de l'explication de M. Lodge les expériences de M. Arons (¹), de M. Tommasina (²), de M. Malagoli (³) et de quelques autres observateurs. Les conditions dans lesquelles ces expériences ont été faites ne nous semblent pas leur donner le caractère démonstratif qu'on leur prête.

M. Arons observe au microscope les étincelles qui se produisent au sein de limailles métalliques formant pont entre deux bandes de clinquant supportées par une lame de verre. — Lorsqu'on fait agir sur ce système les ondes produites par un excitateur de Hertz et concentrées par des fils disposés suivant les indications de M. Lecher, on observe des mouvements des grains de limaille et on

(¹) ARONS. (*Wiedemann's Annalen*, t. LXV, p. 567, 1898.)

(²) TOMMASINA. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1899, et 1900. *Écl. Élect.*, t. XIX, p. 278; t. XX, p. 35 et 75; t. XXIII, p. 79.)

(³) MALAGOLI. (*Ellettricita*, t. VII, p. 193. *Écl. Élect.*, t. XXII, p. 483; t. XXIII, p. 270.)

aperçoit un flux de vives étincelles qui se produisent entre les grains conducteurs.

Ainsi que le fait remarquer M. Branly [1], les conditions de cette expérience ne sont en rien comparables aux conditions réalisées dans les dispositifs pratiques de télégraphie sans fil. L'action des ondes sur un tel système est considérablement plus puissante que l'action des ondes émises par une antenne sur un cohéreur situé à 50 ou 80 kilomètres de cette antenne.

La même raison rend les observations de chaînes conductrices produites par M. Tommasina inacceptables en tant qu'expériences de contrôle de l'explication de M. Lodge ou de l'explication complémentaire proposée par M. Righi.

Ces différents observateurs nous paraissent s'être éloignés par trop des conditions réalisées en général dans les expériences de télégraphie sans fil. En exagérant ainsi la puissance des appareils producteurs des phénomènes, n'ont-ils pas troublé, par des actions accessoires, les phénomènes qui se produisent au sein des tubes à limaille utilisés comme récepteurs en télégraphie sans fil ?

M. Tissot qui a examiné, tant au microscope qu'à l'aide de phénomènes de diffraction, la colonne de limaille de fer qu'il emploie dans ses ingénieux dispositifs, n'a jamais observé aucun mouvement de la limaille, ni aucune orientation de cette limaille [2]. A-t-il aperçu les étincelles que l'explication de M. Lodge suppose entre les grains de limaille ? Sans nul doute, non, car il n'eût pas manqué de les signaler. — Leur non observation n'implique cependant pas leur absence.

---

(1) E. Branly. *Les Radio-conducteurs.* (Rapports présentés, etc., p. 336.)

(2) C. Tissot. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 2 avril 1900. — Congrès international d'Electricité. *L'Éclairage Électrique*, t. XXIV 29 septembre 1900, p. 489.)

Un fait observé, qui nous paraît bien plus susceptible d'être invoqué en faveur de l'explication de M. Lodge, est l'utilité, sinon la nécessité, d'une mince couche isolante enserrant les grains de limaille, utilité si nettement mise en évidence par les expériences de M. Blondel (1). — M. Blondel a montré en effet que les métaux inoxydables à l'air (argent, or, platine), ne constituaient que de très médiocres radio-conducteurs et qu'au contraire les métaux *légèrement oxydables* permettaient de réaliser de très sensibles radioconducteurs.

Explications de M. Ferrié. — M. le capitaine Ferrié a proposé diverses hypothèses relativement au fonctionnement des radio-conducteurs. Ces hypothèses peuvent se diviser en deux groupes : un premier groupe vise le fonctionnement des radio-conducteurs nécessitant un choc pour reprendre leur résistance primitive ; un second groupe a trait à l'explication des phénomènes que présentent les radio-conducteurs revenant spontanément à leur état primitif.

M. Ferrié considère le condensateur formé par deux grains de limaille consécutifs et par la lamelle diélectrique qu'ils comprennent. — Ce condensateur est susceptible de supporter sans se décharger sur lui-même, sans « *crever* », une certaine différence de potentiel. Mais lorsque la différence de potentiel atteint une certaine valeur limite V, le condensateur considéré « crève ». C'est alors que, suivant la manière de voir de M. Lodge, une étincelle jaillit et qu'un pont conducteur s'établit entre les deux armatures du condensateur considéré, c'est-à-dire entre les deux grains de limaille consécutifs.

M. Ferrié propose les hypothèses suivantes relative-

---

(1) Blondel. — *Quelques remarques et expériences sur les cohéreurs.* — Congrès de Nantes, de l'Association française pour l'avancement des Sciences, 1898, p. 216. *Écl. Élect.*, t. XVI, p. 316.

ment aux conditions qui déterminent la valeur limite de V :

La différence de potentiel limite que peut supporter le condensateur considéré dépend :

1° De la nature et de l'épaisseur du diélectrique interposé entre les grains de limaille.

2° De la nature des conducteurs constituant les armatures, c'est-à-dire de la nature de la limaille.

La première hypothèse est toute naturelle et doit évidemment être faite. La seconde mérite de ne pas être acceptée sans discussion.

Si l'on suppose, en effet, que la limaille employée est très propre, sans couche d'oxyde, sans nuage de sulfure (ce qui est le cas des radio-conducteurs les moins sensibles), on ne voit pas en quoi la nature du conducteur peut influer sur la différence de potentiel que peut supporter sans crever le condensateur. — Si, au contraire, on tient compte de la couche superficielle d'oxyde ou de sulfure, peu ou point conductrice, qui, dans tout bon cohéreur, recouvre inévitablement (ne serait-ce qu'après quelque temps d'usage) chaque grain de limaille, il nous semble que c'est *de la nature et de l'épaisseur de cette couche* que doit dépendre la valeur limite de la différence de potentiel que peut supporter, sans crever, chaque condensateur formé par deux grains consécutifs de limaille. — Ainsi entendue, la seconde hypothèse de M. Ferrié est des plus plausibles et permet de rendre parfaitement compte des degrés de sensibilité si différents que l'on constate entre les cohéreurs construits avec des limailles métalliques différentes et qui nécessitent un choc pour reprendre leur résistance primitive. La nature du métal formant limaille influe sur la valeur de V par la nature de l'oxyde ou du sulfure formant gaîne pour chaque grain de limaille.

Ces hypothèses admises, on peut aisément expliquer la

supériorité du mélange de limaille employé par M. Marconi sur les limailles dont se sert M. Branly. Cette supériorité est due à la différence existant entre les valeurs de V relatives à ces deux sortes de cohéreurs. Cette différence provient de la nature et de l'épaisseur de la couche du diélectrique baignant la limaille (sur lesquelles influent la grosseur du grain, le degré de vide, le tassement) et aussi de la nature et de l'épaisseur du voile d'oxyde qui, dans chaque dispositif, recouvre les grains de limaille. — Si la valeur de V assignable aux condensateurs considérés dans le mélange employé par M. Marconi est bien inférieure à la valeur de V assignable aux condensateurs formés par les dispositifs de M. Branly, on conçoit que les ondes électriques agissent efficacement à une bien plus grande distance sur les cohéreurs de M. Marconi que sur ceux de M. Branly.

C'est cette valeur limite de la différence de potentiel V, que M. Blondel a proposé de désigner sous le nom de *tension critique de cohésion*.

Les dispositifs imaginés par M. Tissot empruntent justement leur intérêt et leur puissance pratique au fait qu'ils rendent très facilement réglable et variable à volonté la tension critique de cohésion. Il suffit pour cela de faire varier le champ magnétique dans lequel se trouve placé la limaille.

L'essai de théorie de M. Ferrié indique donc que la sensibilité d'un cohéreur sera d'autant plus grande qu'il y aura une plus faible marge entre la différence de potentiel qui fait crever le condensateur et celle qu'on peut établir au préalable entre les armatures, sans le crever [1].

---

[1] En ce qui concerne la pratique, il faut observer que le choc décohérera d'autant moins facilement un cohéreur que le courant qui s'établit après l'action des ondes est plus intense. Il y a donc avantage à employer des cohéreurs admettant une faible valeur de la tension critique de cohésion (cohéreurs à limaille de métaux peu oxydables ou à limaille placée dans des conditions de très faible oxydation).

Cette explication du fonctionnement des cohéreurs nécessitant un choc, qui peut être considérée comme un développement et une illustration en quelque sorte de celle préconisée par M. Lodge est en tout point d'accord avec les résultats de la très complète étude des diverses limailles, faites par M. Blondel (1). — Elle indique de plus qu'il y aura avantage à utiliser une limaille très fine et surtout à grains très réguliers et uniformément tassés, de telle manière que la tension critique de cohésion de chaque couple de grains soit très sensiblement la même en toute région de la colonne de limaille. Il y a également avantage à n'utiliser qu'une très petite colonne de limaille, ce qui est conforme aux résultats observés ; on a ainsi, en effet, plus de chance de réaliser l'homogénéité de la colonne de limaille.

Pour expliquer le fonctionnement des cohéreurs à décohésion spontanée, M. Ferrié imagine l'hypothèse suivante :

Lorsque deux particules conductrices (deux grains de limaille) sont très rapprochées, avant qu'il y ait contact parfait entre les particules, il existe une position pour laquelle le diélectrique est refoulé en dehors des portions des surfaces les plus voisines : une gaine vide se produit entre les conducteurs. Le diélectrique occupe l'espace *d*, *d* (fig. 150) compris entre les deux grains de limaille A, A, sauf l'espace *a* qui constitue une gaine vide de matière.

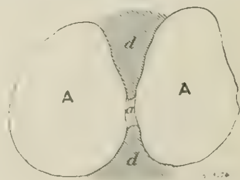


Fig. 150. — Disposition de deux grains consécutifs de limaille d'un radioconducteur.

Cette hypothèse admise, M. Ferrié explique le fonctionnement des cohéreurs à décohésion spontanée de la

(1) Blondel. (Congrès de Nantes, de l'Association française, etc., p. 216.

manière suivante : — Le contact imparfait constitué par deux grains de limaille est-il intercalé dans un circuit contenant une faible force électromotrice? Il se produit entre les deux conducteurs un effluve qui occupe l'espace vide *a*. Une conductibilité du circuit doit donc être observée. C'est en effet ce que l'observation vérifie. — Qu'une cause quelconque vienne augmenter progressivement la force électromotrice entre les deux grains conducteurs, l'effluve renforcé agrandit alors le chenal vide existant *a*, repoussant le diélectrique *d* jusqu'à ce qu'il s'oppose, par son élasticité ou son adhérence à la matière, à cet élargissement. Alors, si la différence de potentiel s'accroît encore entre les deux grains conducteurs A, A, une étincelle disruptive se produira entre eux et les réunira momentanément en formant pont.

Ce mécanisme de la décharge entre les grains conducteurs par effluve précédant la formation d'une étincelle rend très bien compte de l'entretien d'un téléphone attelé à un cohéreur à décohésion spontanée par l'intermédiaire d'une pile lorsque le cohéreur est soumis à l'action d'ondes électriques.

On constate, en effet, que les variations de résistance du contact imparfait réalisé par le cohéreur suivent le rythme de l'interrupteur employé avec la bobine qui entretient l'excitateur des ondes. — On peut admettre que chaque train d'ondes agit simultanément sur l'effluve produit en *a* et que cet effluve s'élargit lorsque la différence de potentiel entre les grains conducteurs A est augmentée par l'action du train d'ondes, puis, revient à son état premier, grâce à l'élasticité du diélectrique, lorsque l'action du train d'ondes cesse. Les variations de largeur de l'effluve qui se produit en *a* se traduisent par des variations de même sens dans l'intensité du courant qui entretient le téléphone. De là l'imitation, par le bruit rythmé entendu dans le téléphone, du rythme même de l'interrupteur.

Si l'explication proposée par M. Ferrié relativement aux cohéreurs nécessitant un choc pour la décohésion peut être considérée comme un développement de celle proposée par M. Lodge, l'hypothèse qu'il propose pour rendre compte des phénomènes présentés par les cohéreurs à décohésion spontanée constitue un essai de théorie qui joint au mérite d'être fort ingénieux celui de suivre assez loin les particularités que l'on observe dans le fonctionnement de ces sortes de cohéreurs.

Classement des détecteurs d'ondes. — Si l'on jette un coup d'œil d'ensemble sur les divers essais de théorie que nous venons de passer en revue on constate qu'aucun d'eux ne permet de donner une explication complète des faits observés avec tous les détecteurs d'ondes électriques aujourd'hui si divers et si nombreux.

Nous proposons de classer les divers détecteurs d'ondes en employant la terminologie suivante.

On a réalisé :

1° Des détecteurs d'ondes à limailles qui ne reprennent leur résistance primitive que sous l'action d'un choc (Branly, Lodge, Popof, Marconi, Blondel) ou par la suppression d'un champ magnétique préalablement établi (Tissot).

2° Des détecteurs d'ondes à limailles qui reprennent d'eux-mêmes, spontanément, leur résistance primitive (Tommasina, Popof, Ferrié).

3° Des détecteurs d'ondes constitués par des tubes à vide dont les électrodes sont très rapprochées (Righi, Blondel).

4° Des détecteurs d'ondes (limaille, poudre, feuilles minces) à accroissement de résistance (Branly).

5° Des détecteurs d'ondes à couche de buée ou de vapeur (Aschkinass, Neugschwender, Schaffer).

Ce sont là, à notre connaissance, les seuls détecteurs d'ondes utilisés ou dont l'emploi a été préconisé en télégraphie hertzienne.

On désignera tous ces détecteurs d'ondes sous le nom général de *radio-conducteurs*, indiquant par là que tous ces dispositifs décèlent les ondes électriques par une *variation de leur conductibilité* (diminution ou accroissement de résistance).

Les *radio-conducteurs* comprendront alors :

a. Les *radio-conducteurs-cohéreurs* ou plus simplement les *cohéreurs* répartis en deux classes :

1° Les *cohéreurs à choc*, qui reprennent leur résistance primitive sous l'action d'un choc. (Dans cette classe pourrait prendre rang le cohéreur de M. Tissot, sous le nom de *cohéreur magnétique*.)

2° Les *cohéreurs à décohésion spontanée* qui se décohèrent d'eux-mêmes.

b. Les *radio-conducteurs proprement dits* qui comprendront :

3° Les *radio-conducteurs à vide* qui sont constitués par un tube à vide contenant deux électrodes rapprochés.

4° Les *radio-conducteurs résistants* qui désigneraient et les détecteurs d'ondes à accroissement de résistance de M. Branly et les détecteurs d'ondes à couche de buée ou de vapeur de M. Aschkinass, de M. Neugswender, de M. Schaffer.

Cette terminologie présente l'avantage de n'accorder le nom de *cohéreur* qu'aux seuls dispositifs au sujet desquels on peut admettre qu'il y a de la part des ondes effet de cohésion, réservant le nom de *radio-conducteur* qui ne présume rien sur le mécanisme de leur fonctionnement aux autres détecteurs d'ondes. Ces derniers pourront d'ailleurs ultérieurement prendre rang ou non parmi les *radio-conducteurs-cohéreurs* ou plus simplement *cohéreurs*, suivant les résultats auxquels leur analyse expérimentale conduira.

Conclusions. — Nous résumerons ainsi, en adoptant cette terminologie, les divers essais de théorie précédents.

L'explication de M. Branly ne permet pas d'expliquer à la fois le fonctionnement des *cohéreurs à choc* et des *cohéreurs à décohésion spontanée*. Suivant l'interprétation admise elle ne s'adapte qu'à l'une ou à l'autre classe de cohéreurs. Cette explication ne rend aucun compte des phénomènes présentés par les *radio-conducteurs proprement dits*.

L'explication de M. Lodge qui semble la plus plausible et la plus générale de toutes celles proposées jusqu'à ce jour, réussit à expliquer le fonctionnement des *cohéreurs à choc* et des *cohéreurs à décohésion spontanée*, mais elle est impuissante à rendre compte des phénomènes observés avec les *radio-conducteurs proprement dits*. Peut-être d'ailleurs, les phénomènes présentés par ces derniers dispositifs et surtout par les *radio-conducteurs résistants* sont ils très différents de ceux présentés par les *cohéreurs*.

L'ingénieuse manière de voir de M. Ferrié qui rend si parfaitement compte des observations faites à l'aide du téléphone sur les *cohéreurs à décohésion spontanée* semble limitée à ces sortes de cohéreurs. Peut-être s'appliquerait-elle encore aux radio-conducteurs à vide, mais elle ne paraît pas pouvoir servir à expliquer le fonctionnement des *cohéreurs à choc* pas plus que celui des *radio-conducteurs résistants*.

En résumé tous ces essais de théorie manquent de généralité. Chacun d'eux s'applique à un groupe de *radio-conducteurs* à l'exclusion de tous les autres.

Bien que quelques-uns pénètrent assez avant les particularités du fonctionnement des dispositifs qu'ils se proposent d'étudier, ils nous semblent être encore un peu prématurés.

N'y aurait-il pas lieu tout d'abord de classer d'une manière bien nette les phénomènes déjà si divers présentés par tous les radio-conducteurs et de chercher à en

faire une analyse expérimentale qui permette de grouper, s'il se peut, ces faits autour de lois expérimentales bien établies que les théoriciens pourront se proposer alors d'expliquer ?

Quoi qu'il en soit, ces divers essais de théorie ont sans nul doute inspiré déjà de très heureux dispositifs et d'intéressantes expériences ; ils sont susceptibles d'ailleurs d'en faire naître d'autres. C'est là leur véritable mérite et leur utilité.

ANALYSE DE QUELQUES BREVETS RÉCENTS

Récepteur perfectionné pour ondes lumineuses calorifiques ou électriques, par Axel Orling et G. Georg Braunerhjelm. Brevet anglais n° 1866, du 26 janvier 1899.

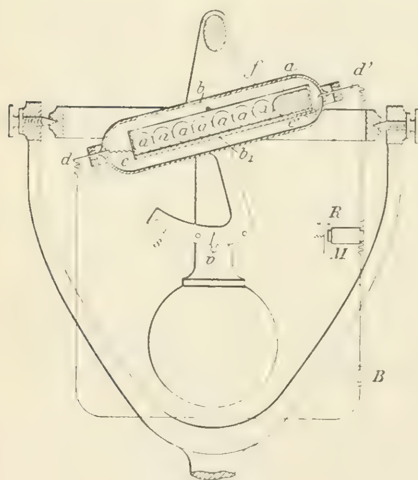


Fig. 151.
Récepteur Orling et Braunerhjelm.

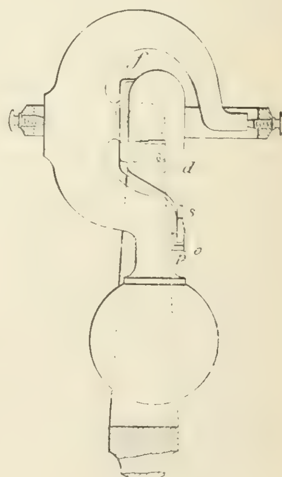


Fig. 152. — Coupe transversale du récepteur Orling et Braunerhjelm.

Accepté le 23 décembre 1899. — Le récepteur se compose essentiellement d'une série de billes conductrices en

contact, logées entre deux électrodes dans un tube fermé (fig. 151), dont l'air a été partiellement ou complètement enlevé. Ces billes offrent ordinairement au courant électrique une résistance notable qui décroît considérablement lorsqu'elles sont frappées par des ondes calorifiques, lumineuses ou électriques. Le réglage s'obtient en inclinant plus ou moins le tube, ce qui est aisé comme le montre la figure 151.

L'appareil représenté dans les figures 151 et 152 est fixé dans un joint universel, de manière à conserver son inclinaison sur l'horizon. Les billes métalliques a, a sont placées dans un tube isolant b, b et viennent au contact des électrodes c, c'_1, reliées en d et en d' au circuit comprenant la batterie B et l'électro-aimant R.

Perfectionnement au récepteur précédent, par Axel Orling et G. Georg Braunerhjelm. Brevet anglais

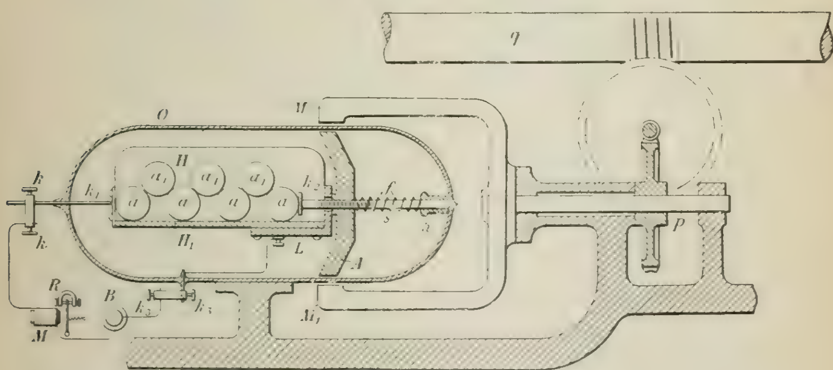


Fig. 153. — Dispositif perfectionné du récepteur Orling et Braunerhjelm.

n° 1867, du 26 janvier 1899, accepté le 23 décembre 1899. — Comme le montre la figure 153 par la rotation de l'arbre q qui commande l'aimant permanent M, on peut agir sur la pièce de fer A qui permet de presser

les billes métalliques a, a_1. L'électrode k_2 peut même amener les sphères a_1 à chevaucher sur les sphères a. Le tube O est fermé et vide d'air. Deux tiges métalliques k_1, k_3 le traversent et communiquent avec les électrodes. Elles permettent d'intercaler le récepteur dans le circuit k M B k_3.

Appareil de réception pour transformer les ondes hertziennes en signaux perceptibles, par Johann Christian Schaffer, Edouard Renz et Paul Lippold. Brevet

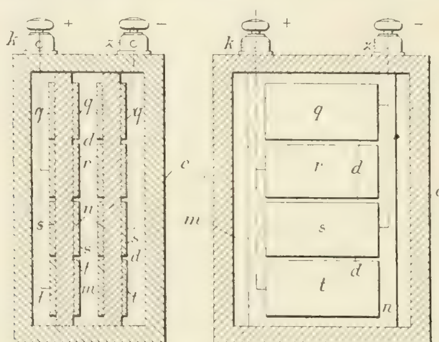


Fig. 154. — Récepteur Schaffer.

anglais, n° 6 002, du 20 mars 1899, accepté le 20 avril 1900. — Le récepteur utilise le fait suivant : lorsqu'un métal en forme de plaque, de fragments ou de fils superposés est introduit dans un circuit électrique, il possède une certaine résistance qui est susceptible de changer si la plaque de métal est mouillée. ([1]).

Sous l'influence des ondes électriques qui la frappent, cette plaque reprend sa résistance primitive. Par suite de cette variation de résistance la transcription des signaux produits par les ondes électriques peut être aisément effectuée au moyen d'un relais.

([1]) Voir *Anticohéreurs*, p. 31.

Les figures 154 et 155 représentent les deux modèles de récepteurs. Dans la figure 154 des pièces de métal *q*, *r*, *s*, *t*, sont disposées côte à côte de part et d'autre de deux supports isolants, à l'intérieur d'une boîte *c* qui supporte deux bornes *k* et *z* servant à introduire l'appareil dans le

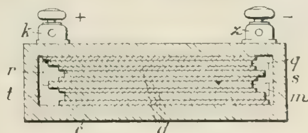


Fig. 155. — Récepteur Schaffer. Second dispositif.

circuit électrique. Les pièces métalliques sont situées à une petite distance les unes des autres et le mouillage continu de ces pièces est produit soit par des gouttelettes, soit par une admission de vapeur, soit encore plus aisément au moyen de mèches ou de corps poreux humides.

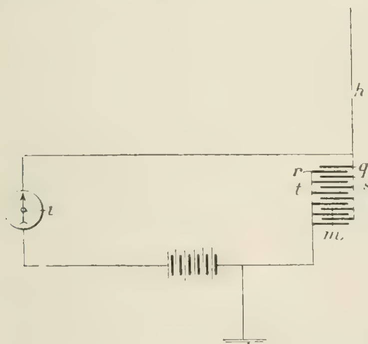


Fig. 156. — Système Schaffer. Disposition du circuit de réception.

La figure 155 montre une disposition relative des pièces *q*, *r*, *s*, *t* un peu différente.

La figure 156 représente le schéma du circuit de réception : *h* figure l'antenne, *m* le récepteur et *i* le relais.

Perfectionnements aux appareils pour recevoir les ondes hertziennes, par Ducretet. Brevet anglais, n° 9791,

du 9 mai 1899, accepté le 7 octobre 1899. — Ces perfectionnements des cohéreurs ont pour but de les rendre plus sensibles et plus commodes.

Le tube T (fig. 157) qui renferme le cohéreur est en

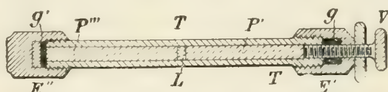


Fig. 157. — Cohéreur Ducretet.

verre, en ivoire, en stéatite ou en une autre substance isolante.

Pour régler facilement la pression de la limaille une

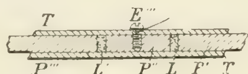


Fig. 158. — Cohéreur Ducretet à trois électrodes.

vis de pression V permet de déplacer l'électrode P′ et de la rapprocher ou de l'éloigner de P‴. On peut constituer

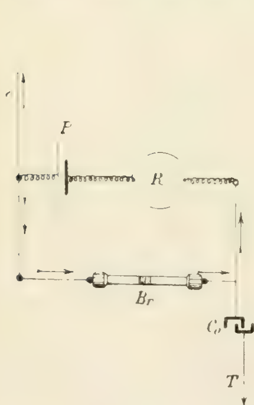


Fig. 159. — Dispositif utilisant un cohéreur à deux électrodes.

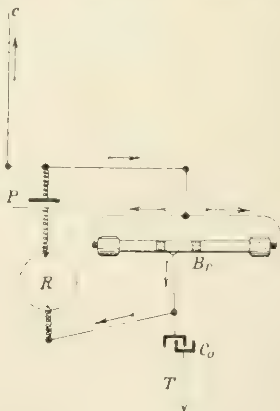


Fig. 160. — Dispositif utilisant un cohéreur à trois électrodes.

le cohéreur à l'aide de trois électrodes P′, P″, P‴ (fig. 158) au lieu de deux. La limaille se trouve alors en L et en L′.

Il faut alors mettre l'électrode médiane P'' en communication avec le circuit. A cet effet, une vis E'' traverse la paroi du tube et assure le contact avec P''.

La disposition du cohéreur dans le circuit est représentée par les schémas des figures 159, 160, 161 et 162.

La figure 159 représente les connexions relatives à un cohéreur à deux électrodes : R est le relais, P la pile, B*r* le cohéreur. La mise en communication avec la terre a lieu par l'intermédiaire d'un condensateur C_o.

La figure 160 représente le même dispositif utilisant un cohéreur à trois électrodes.

Dans la figure 161, les ondes reçues par l'antenne *c* traversent le primaire d'un transformateur I et sont dirigées

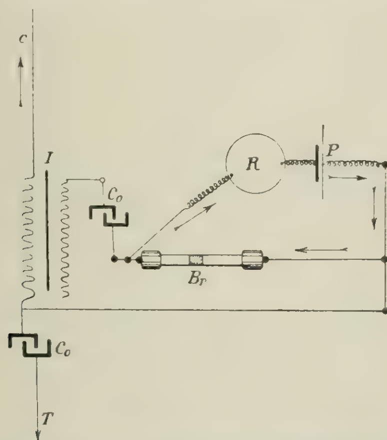


Fig. 161. — Dispositif avec cohéreur à deux électrodes et transformateur.

vers la terre par l'intermédiaire d'un condensateur C_o. Le secondaire de la bobine est mis en communication avec le cohéreur B*r*, par l'intermédiaire d'un condensateur C'_o; le cohéreur fait partie d'un circuit comprenant un relais R et une pile P : ce circuit est mis en communication avec la terre par l'intermédiaire du condensateur C_o.

Le même dispositif est représenté (fig. 162). Le cohéreur, au lieu d'être à deux électrodes, est à trois électrodes.

Les limailles qui sont utilisées pour la fabrication des

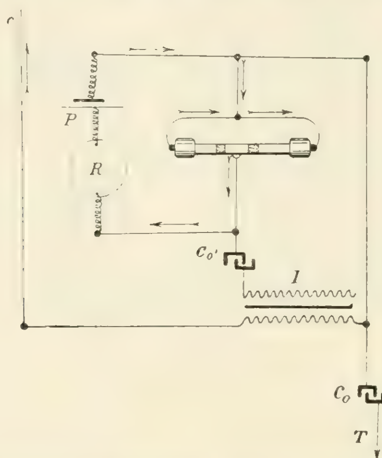


Fig. 162. — Dispositif avec cohéreur à trois électrodes et transformateur.

cohéreurs sont des limailles d'acier mélangées avec des limailles d'argent ou de rhodium.

Perfectionnements aux cohéreurs, par A.-S. Popoff. Brevet anglais n° 2797, du 12 février 1900. Accepté le 7 avril 1900.— Le récepteur employé en télégraphie sans fil est basé sur la découverte du cohéreur ou tube radioconducteur de Branly. Cet appareil offre ordinairement une grande résistance au passage du courant électrique, résistance qui disparaît sous l'influence des ondes électriques.

Le changement de résistance se produit instantanément et continue après le passage des ondes électriques. Dans le but d'arrêter la conductibilité de la limaille aussi promptement que possible, le tube est frappé ou

remué. De nombreux dispositifs automatiques ont été imaginés dans ce but.

Le nouveau cohéreur ne demande pas qu'on restitue à la limaille sa résistance primitive. Ce résultat assez important est atteint en formant le tube d'une chaîne conductrice formée de charbon et de métal qui constitue un *contact microphonique*. Alors les changements de résistance sont plus considérables et plus constants.

A la première influence des ondes la résistance du radio-conducteur décroît, elle se maintient ensuite à une certaine valeur durant tout le temps de l'influence de l'onde électrique. La résistance varie sans qu'il soit nécessaire de choquer le tube.

Ces variations de résistance sont aisément perçues dans le téléphone.

L'arrangement du récepteur est représenté dans les figures ci-jointes. Un circuit comprend le tube à limaille, un ou plusieurs éléments de pile, un ou plusieurs téléphones avec lesquels l'opérateur écoute les sons particuliers qui correspondent à chaque décharge de la station qui transmet. On obtient alors à la station de réception une réception en signaux Morse.

L'emploi du téléphone associé au résonateur de Hertz à intervalle micrométrique a bien été réalisé par M. Turpain, mais l'arrangement convient seulement pour les expériences classiques à petite distance. Cet arrangement peut être associé avec le tube cohéreur constitué par des grains d'acier à contacts libres et réalisant des distances plus faibles que celles que présente le résonateur de Hertz.

On peut, avec ce radio-conducteur, transmettre des messages sans fil à toute distance.

Le meilleur métal à employer est l'acier marchand en forme de perles polies qui sont broyées et produisent les grains utilisés dans le radio-conducteur.

Pour éviter des secousses au cohéreur pendant la transmission, le tube est supporté par du caoutchouc assez mou.

Le son de l'appareil téléphonique peut être perçu à une certaine distance de l'oreille. L'emploi de deux téléphones débarrasse l'opérateur des bruits extérieurs.

On peut encore ajouter un relais microtéléphonique pour l'appel et pour l'enregistrement des messages.

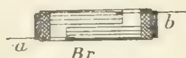


Fig. 163. — Cohéreur Popoff.

Le radio-conducteur est représenté figure 163. Dans un petit tube de verre ou d'autre substance isolante sont placées deux petites bandes de platine à proximité l'une de l'autre. Dans l'intérieur du tube se trouvent les grains

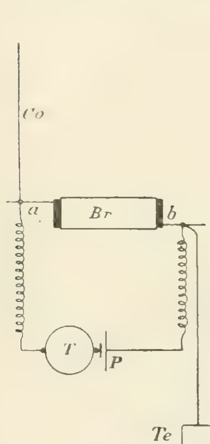


Fig. 164. — Dispositif avec cohéreur Popoff.

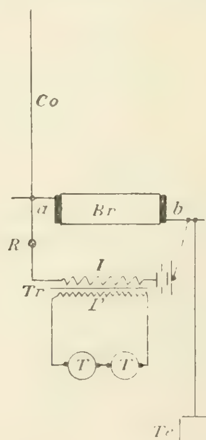


Fig. 165. — Dispositif avec cohéreur Popoff et transformateur.

d'acier produits par le broiement. La grosseur des grains dépend de la distance entre les deux bandes. L'état d'oxydation de la surface des grains de métal assure à

l'appareil une sensibilité parfaite. Ce radio-conducteur convient parfaitement à la réception téléphonique des ondes électro-magnétiques.

Pour faciliter la distribution uniforme des grains de métal, le tube peut être divisé, au moyen de séparations formées d'une matière isolante, en petites loges.

La figure 164 représente le plus simple des dispositifs de réception. La figure 165 montre le même dispositif augmenté d'un transformateur *Tr*. I et I' sont les primaire et secondaire tels qu'on les emploie dans les appareils microtéléphoniques. Ce dispositif accroît l'intensité de son aperçu dans les téléphones, mais il n'est pas indispensable.

Perfectionnement aux cohéreurs électriques, par Dervin. Brevet anglais n° 6684, du 10 avril 1900, accepté le 12 mai 1900. — Ce brevet apporte des perfectionnements de détails aux cohéreurs de Branly.

Le perfectionnement porte exclusivement sur la nature de la substance formant limaille. On emploie l'or, l'argent, le platine et les alliages de ces métaux ; on les produit à l'état de précipités obtenus par des procédés physiques ou chimiques.

L'auteur emploie également les métaux cristallisés à l'état natif.

II. — EXCITATEURS. ANTENNES

Explications proposées du rôle de l'antenne en télégraphie sans fil.

Plusieurs explications du rôle de l'antenne en télégraphie sans fil ont été proposées; les unes font intervenir la conductibilité du sol ou des couches atmosphériques, d'autres sont basées sur la considération des lignes de force.

Nous allons tout d'abord résumer les faits d'observation relatifs aux antennes et indiquer les conditions qui influent sur la portée des ondes. Nous passerons ensuite rapidement en revue les diverses explications du rôle des antennes qui ont été proposées et nous indiquerons comment elles rendent compte des faits observés.

Observations relatives aux antennes. — *Nécessité de l'antenne.* — La nécessité de l'antenne, tant dans le dispositif de transmission que dans celui de réception, est un des faits les plus constants d'observation. Il est pratiquement impossible de réaliser, à une distance notable, des transmissions par les procédés de la télégraphie hertzienne sans fil, si l'on n'a pas disposé aux deux postes transmetteur et récepteur des antennes plus ou moins longues. L'entretien d'un excitateur d'ondes électriques non muni d'antenne est insuffisant, quelque puissant qu'il soit, pour influencer un radio-conducteur disposé à une grande distance. De même, un radiateur ne sera sensible aux ondes émises par un excitateur éloigné, qu'autant qu'il sera réuni à une antenne réceptrice.

Longueur de l'antenne. — La portée des ondes semble d'autant plus grande que l'antenne est plus longue. On a indiqué, à ce sujet, sous le nom de *loi des antennes* des relations, d'ailleurs empiriques, qui manquent de généralité.

Lois des antennes de M. Marconi. — M. Marconi a indiqué que, toutes choses égales d'ailleurs, la portée maximum est atteinte si la hauteur h_t de l'antenne de transmission est égale à la hauteur h_r de celle de réception.

$$h_t = h_r = \mathrm{H}.$$

La portée des ondes est proportionnelle au carré de la hauteur commune H des antennes.

$$\mathrm{D} = k\,\mathrm{H}^2.$$

Cette formule est applicable jusqu'à 40 km, en prenant $k = 44{,}44$. A partir de 40 km, les hauteurs ainsi déterminées sont trop faibles. L'interposition d'obstacles réduirait d'environ un tiers la distance calculée par cette formule.

Lois des antennes de M. Blondel. — Cette dernière relation est approximativement vérifiée par des expériences de M. Blondel, dont voici quelques résultats : pour communiquer à 3 km, il a fallu des antennes de 12 m ; 18 m d'antennes ont permis de franchir 9 500 km et 24 m ont été nécessaires pour atteindre 13 500 km. Si l'on donne au coefficient k la valeur 24,5, la formule précédente résume ces mesures.

Quant à l'égalité de hauteur des deux antennes, elle n'influe que très peu sur la portée des ondes. Il suffit que la somme des hauteurs des antennes de transmission et de réception reste constante ; la hauteur de chaque antenne peut varier sans que la portée des ondes soit diminuée, pourvu que cette hauteur reste supérieure à une limite λ qui, dans les expériences de M. Blondel, est de 5 à 10 m.

Les formules

$$h_t + h_r = 2\,\mathrm{H} \qquad h_t > \lambda < h_r.$$
$$\mathrm{D} = k\,\mathrm{H}^2.$$

résument donc les observations de M. Blondel.

Direction de l'antenne. — Dans la plupart des dispositifs de télégraphie sans fil, on dispose l'antenne verticalement et il semble que ce soit là une condition nécessaire de bon fonctionnement et de longue portée. Il faut cependant signaler l'observation de M. Tissot [1], d'après laquelle il n'est pas indispensable de disposer les antennes verticalement ; il suffit qu'elles soient dans un

(1) TISSOT. (*Société française de Physique*, 17 mars 1899.)

plan perpendiculaire à la direction de propagation. Plus récemment, M. Tissot a constaté que l'inclinaison de l'antenne sur la verticale n'a pas d'influence marquée sur la portée des ondes, tant que cette inclinaison ne dépasse pas 40°. Il en est de même du plan vertical qui contient l'antenne ; il peut être incliné de 40° sur la direction de propagation des ondes sans que la portée de ces dernières en soit diminuée. Toutefois, lorsque l'inclinaison des antennes sur la verticale est notable, il est préférable qu'elles soient parallèles et que les plans verticaux qui les contiennent soient normaux à la direction de propagation.

Communication de l'antenne avec la terre. — La mise en relation des antennes avec la terre augmente dans de très grandes proportions la portée des signaux. C'est là un fait généralement observé. Il est indispensable que la communication avec le sol soit établie avec beaucoup de soin. D'après M. Tissot, le fil de terre doit être très peu résistant et doit présenter une self-induction négligeable. — Au cours de certaines expériences de M. Tissot, le poste transmetteur étant disposé sur un rocher, on dut, pour assurer une bonne transmission, relier l'antenne à la mer par un fil conducteur. On obviait ainsi au défaut de conductibilité du sol.

Il y a lieu, à ce propos, de rappeler les expériences de télégraphie sans fil réalisées par MM. Lecarme entre le sol et un ballon muni d'une antenne de réception. Dans ces expériences, l'antenne réceptrice ne pouvait être reliée au sol. Il est vrai que les signaux cessèrent d'être perçus lorsque la distance excéda 8 km, alors que dans les expériences de M. Tissot, la portée des ondes dépassait parfois 80 km. Il faudrait vérifier si cette mise en communication de l'antenne avec le sol est aussi nécessaire, ou tout au moins aussi utile, pour l'antenne de réception que pour l'antenne de transmission. Il eût été

également intéressant d'être renseigné sur la portée qu'auraient atteintes des ondes émises par l'antenne du ballon et de savoir si cette portée eut été la même que celle (8 km) observée pour les ondes reçues par le ballon.

Isolement des antennes. — Il est utile que l'antenne de transmission soit très soigneusement isolée de ses supports et tendue le plus loin possible du mât qui permet de la dresser verticalement (expériences de M. Marconi). Il est même bon d'entourer l'antenne d'un revêtement isolant, d'un guipage de caoutchouc, par exemple. Les mêmes précautions ne sont pas applicables à une antenne qui ne doit servir que pour la réception des ondes. C'est ainsi que M. Tissot a pu, dès le mois de mai 1900 utiliser le conducteur d'un paratonnerre comme antenne de réception.

Nature, forme et capacité de l'antenne. — La nature et la forme de l'antenne influent très peu sur la portée des ondes émises. Que l'antenne soit constituée par un fil de faible diamètre (fil nu de 1 mm, fils couverts de 0,4 à 0,09 mm), par un fil de fort diamètre, voire même par une bande de clinquant ou par un treillis métallique, la portée des ondes n'en est pas augmentée, d'après M. Blondel. Il en est de même pour la capacité. On munit souvent l'extrémité libre des antennes de plaques ou de sphères. Ces capacités ne semblent avoir aucune influence sur la portée des ondes. M. Blondel a observé, à ce propos, qu'en remplaçant l'antenne par deux disques horizontaux dont l'un était placé sur le sol et qui constituaient une capacité notable, on obtenait de très médiocres résultats.

Toutefois, pour les transmissions à longue distance, il est préférable, d'après M. Tissot, de réduire la self-induction de l'antenne et d'en augmenter la capacité.

En résumé, les seuls éléments importants relativement à la portée qu'une antenne donne aux ondes qu'elle émet

consistent dans une *grande hauteur*, une *direction verticale* ou tout au moins normale à la droite qui joint les deux postes, et enfin dans la *mise en communication avec la terre*.

Diverses explications du rôle de l'antenne. — *Première explication.* — On a tout d'abord cru pouvoir expliquer le rôle des antennes en supposant que la transmission s'effectuait par ondes libres au sein de l'air d'une antenne à l'autre.

On n'explique pas ainsi la nécessité des antennes et l'impossibilité qu'il y a à les remplacer par un oscillateur, quelque puissance qu'on lui donne et quelque grande que soit la capacité du condensateur qui le constitue.

Explication basée sur la conduction du sol. — Tenant compte de la grande portée que donne aux ondes la mise en communication de l'antenne de réception avec la terre, on a pensé que les ondes étaient concentrées par la surface même du sol jouant le rôle de conducteur, et qu'elles se propageaient de l'un à l'autre poste par son intermédiaire.

Certaines expériences de M. Voisenat, de M. Tissot, semblent confirmer cette manière de voir. On rapporte ainsi au fait de la meilleure conductibilité de l'eau de mer le succès des expériences de télégraphie sans fil entre postes établis sur les côtes.

M. Villot [1] a pensé même qu'en choisissant convenablement les prises de terre des antennes, on pouvait augmenter notablement la portée des ondes. Il propose à cet effet d'établir les postes transmetteur et récepteur de telle sorte que la terre de chacun d'eux soit empruntée à une même couche géologique.

Si l'on fait jouer un rôle prépondérant à la communi-

---

(1) Villot. Congrès international d'électricité. (*Éclairage Électrique*, 29 septembre 1900).

cation des antennes avec la terre et à la conductibilité du sol, on ne comprend pas la nécessité de la hauteur et de la verticalité des antennes. Il semble que leur suppression et leur remplacement par une capacité ne doivent pas diminuer la portée des ondes. Or, on constate, au contraire, que si la portée est de beaucoup augmentée par la mise en communication de l'antenne avec la terre, elle se trouve considérablement réduite dès qu'on diminue ou qu'on supprime l'antenne. L'utilité d'une longue antenne demeure donc bien démontrée.

Explication basée sur la conductibilité de l'air. — M. Blochmann [1] fait jouer aux surfaces équipotentielles de l'atmosphère le rôle prépondérant dans la propagation des ondes d'une antenne à l'autre. Au lieu de considérer, à l'instar de M. Villot, les couches géologiques du sol, il croit pouvoir expliquer le phénomène en faisant jouer un rôle analogue aux couches atmosphériques. — On comprend alors très bien la nécessité de l'antenne, mais on explique mal l'importance de la mise en communication de l'antenne avec le sol.

Il en est de même de l'explication de M. Della Riccia qui rapporte les facilités de communications entre postes situés sur les côtes à une réflexion des ondes hertziennes à la surface de l'eau, réflexion rendue plus efficace par une polarisation préalable des ondes produite par l'antenne verticale.

On pourrait peut-être associer les explications basées sur la conductibilité du sol et sur celle de l'air et supposer que la concentration des ondes se fait de l'un des postes à l'autre à la fois par les couches géologiques et par les surfaces équipotentielles atmosphériques. On expliquerait ainsi la nécessité, pour une longue portée

---

(1) Rudolf Blochmann. Une nouvelle théorie de la télégraphie dite sans fil. (*Revue générale des sciences*, 12e année n° 3, 15 février 1901.)

des ondes, et d'une longue antenne et d'une communication avec la terre.

Le champ hertzien produit par l'excitateur des ondes se trouvait ainsi concentré du poste transmetteur au poste récepteur par les deux couches conductrices considérées. Toutefois, il nous semble que toutes ces explications sont un peu du domaine de l'imagination et plus ingénieuses que plausibles. Il est à remarquer d'ailleurs que, d'après ces dernières manières de voir, les phénomènes d'électricité atmosphérique devraient avoir une très notable influence sur la propagation des ondes. Or, il a été constaté, au cours des expériences faites à Wimereux par M. Marconi, qu'un jour d'orage, il était possible de tirer de l'antenne, isolée des appareils et jouant alors le rôle d'un paratonnerre, de fortes étincelles ; mais, aussitôt que l'antenne était reliée aux appareils, la réception ne présentait aucun trouble et était aussi nette qu'en temps ordinaire. Le fait a été rapporté et contrôlé par M. Ferrié. Il y a lieu de remarquer, cependant, qu'aucun coup de foudre n'a été observé dans le voisinage du poste. M. Tissot a d'ailleurs fait des constatations analogues.

Explications basées sur la considération des lignes de force. — M. Broca (1) considère le flux d'énergie propagée par le fil de l'antenne. Se basant sur ce que « le courant électrique est dirigé suivant la génératrice du fil, la force électrique est normale au conducteur, la force magnétique lui est tangente » ; M. Broca en déduit que « le flux d'énergie calculable par le théorème de Poynting est dirigé perpendiculairement aux deux forces électriques et magnétiques et par conséquent se propage

(1) A. Broca. Sur le rôle de l'antenne dans la télégraphie sans fil. (*Association française pour l'avancement des sciences.* Congrès de Nantes, 11 août 1898.)

le long du fil ». — « Tout se passera ainsi jusqu'au bout du fil, où se produira ce qui est connu sous le nom de perturbation à l'extrémité du fil. Les lignes de courant seront toutes parallèles à l'axe du conducteur, et le flux de Poynting leur sera toujours parallèle. Au sommet du fil, la force électrique sera toujours normale au conducteur. La force magnétique sera indéterminée. Il y aura donc un flux d'énergie dans un plan normal à la force électrique. » Au sommet, le flux d'énergie se disperse donc suivant une nappe horizontale.

Sans vouloir entrer dans la critique de cette théorie et discuter la légitimité du raisonnement relatif à la perturbation aux extrémités d'un conducteur qui concentre des ondes électriques dans son application au cas pratique actuel d'une antenne, nous ferons remarquer que toute déformation de cette extrémité devrait avoir un effet notable sur la direction de la propagation, par suite sur la portée des ondes. Or, le fait de munir l'extrémité de l'antenne de larges plaques, ou bien encore de recourber cette extrémité en spirale ou de lui donner une direction horizontale n'influe en rien sur la portée des ondes, à tel point que ces divers accessoires, tout d'abord employés dans les expériences de télégraphie sans fil, sont aujourd'hui presque complètement abandonnées, notamment par M. Tissot.

M. Blondel [1] a également donné une explication du rôle de l'antenne, basée sur la considération des lignes de force. M. Blondel part de l'hypothèse que la capacité de l'antenne d'émission par rapport à la terre détermine la longueur d'onde des oscillations.

« Le rôle de l'antenne est double :

« 1° Elle règle l'intensité du centre d'ébranlement en

---

[1] Blondel. Sur la théorie des antennes dans la télégraphie sans fil. (*Association française pour l'avancement des sciences*. Congrès de Nantes, 11 août 1898.)

augmentant par sa longueur le volume d'éther ébranlé par l'oscillateur. Les lignes de force électrique, se déplaçant avec la même rapidité dans l'air et le long des fils, et aboutissant toujours normalement aux conducteurs, suivant des propriétés connues des oscillations électriques, doivent avoir ici la forme de nappes demi-sphériques, divergeant des divers points de l'antenne pour aboutir normalement au sol conducteur, comme des baleines de parapluie, autour de l'oscillateur comme centre. A chaque décharge, elles brassent l'éther environnant comme des demi-sphères pulsantes de Bjerkness. Plus l'antenne est haute, plus la sphère pulsante est grande, plus le volume d'éther ébranlé est considérable, plus le centre d'ébranlement produit d'effets sensibles à grande distance. »

« 2° L'antenne dirige l'action des ondes produites par l'ébranlement, en orientant leurs lignes de force magnétique, de la façon la plus favorable pour impressionner le cohéreur. En effet, ces lignes sont distribuées suivant des cercles horizontaux, concentriques à l'antenne et qui se propagent en se dilatant horizontalement. »

L'influence du sol, considéré comme surface conductrice, aurait pour effet de concentrer ces lignes de forces magnétiques qui seraient beaucoup plus nombreuses au voisinage du sol.

« Plus l'antenne de réception est longue, plus elle coupe de lignes magnétiques ; à égale longueur, elle en coupe d'autant moins qu'on l'écarte davantage du sol, autrement dit, la portée est donc plus grande à la surface du sol qu'à une certaine distance. »

Cette dernière conclusion est en désaccord avec les résultats obtenus par M. Tissot, relativement à la portée des antennes. Le tableau suivant résume la moyenne de nombreuses expériences.

Longueur de l'antenne à chaque poste.	Distance de transmission.	Distance franchie par mètre d'antenne.
m	km	km
12	1,8	0,150
20	4,5	0,225
25	7,5	0,300
30	13,5	0,450
35	22	0,620
45	40	0,880

D'après l'explication de M. Blondel, les nombres de la dernière colonne devraient, il semble, décroître avec la hauteur de l'antenne.

On devrait également trouver un avantage à disposer, tant au poste d'émission qu'au poste de réception, des antennes très grosses formées de bandes. Des antennes courtes, mais nombreuses, devraient être préférées à une seule antenne très haute. En second lieu, l'adjonction de capacité, soit à l'extrémité élevée de l'antenne, soit au voisinage du sol, devrait augmenter la portée des ondes. Or, l'expérience montre que ces diverses modifications dans la forme de l'antenne sont sans effet sur la portée des ondes. La réduction de la hauteur de l'antenne, quelle que soit l'augmentation de sa capacité, est toujours suivie d'une réduction de la portée des ondes.

Conclusions. — En résumé, toutes ces explications, tant celles qui font intervenir la conductibilité de l'air ou du sol que celles qui, cherchant à pénétrer plus avant le phénomène, appellent à leur aide la considération des lignes de force, se montrent impuissantes à rendre compte, d'une manière complète, du rôle de l'antenne, à expliquer l'importance de sa hauteur et de sa mise en communication avec le sol. — Les dernières aboutissent à donner à la capacité de l'antenne une importance que l'observation ne ratifie pas.

Moins heureuses que les explications relatives au fonctionnement du cohéreur, les explications que nous venons de passer en revue, n'ont pas eu pour effet d'inspirer

l'expérience et de lui indiquer un heureux perfectionnement de l'antenne, ni même de l'amener, au cours de vérifications, à découvrir un moyen d'augmenter la portée des ondes. En ce qui concerne l'antenne et les conditions qui influent sur la portée des ondes, nous ne sommes pas plus avancés que lors des premiers essais de télégraphie sans fil. Nous ne connaissons qu'un moyen d'augmenter la portée des ondes, c'est d'augmenter la hauteur de l'antenne.

Il nous semble que les explications du rôle de l'antenne sont encore plus prématurées que celles relatives au fonctionnement du cohéreur. La théorie manque, en effet, de faits d'observation systématiquement étudiés. L'analyse expérimentale de l'antenne n'a pas été faite. Certaines expériences récentes de M. Tissot comblent, il est vrai, en partie, ces lacunes, mais il serait peut-être bon d'attendre des renseignements expérimentaux plus complets avant de tenter une explication théorique.

ANALYSE DE QUELQUES BREVETS RÉCENTS

Perfectionnements relatifs à la transmission de signaux électriques sans fil, par Braun. Brevet anglais n° 1862, du 26 janvier 1899, accepté le 6 janvier 1900. — Les vibrations électriques peuvent, d'après l'inventeur, être classées en trois groupes :

Le premier groupe comprend les vibrations obtenues par le déplacement relatif d'aimants et de bobines. Ce sont les courants alternatifs industriellement employés pour la production de la lumière et la transmission de la force.

Un second groupe de vibrations a été étudié par Feddersen. Ce sont celles consistant en oscillations produites par la décharge d'une bouteille de Leyde liée ou non à une bobine d'induction. La fréquence de ces oscillations

est considérablement plus grande que la fréquence des courants alternatifs.

L'inventeur classe dans un groupe différent, le troisième, les oscillations hertziennes dont la fréquence est de beaucoup supérieure à celle que présentent les vibrations de Feddersen.

Jusqu'ici les ondes hertziennes seules ont été utilisées pour les transmissions télégraphiques sans fil. Leur emploi présente l'inconvénient de nécessiter l'absence de tout obstacle matériel entre les deux stations correspondantes. D'après les expériences du professeur Slaby les obstacles interposés entre transmetteur et récepteur affaiblissent et suppriment souvent complètement les communications.

L'utilisation des vibrations de moindre fréquence produites à l'aide de bouteilles de Leyde, ne présente pas, d'après l'inventeur, les mêmes inconvénients. L'auteur prétend que, grâce à leur plus grande longueur d'onde, ces vibrations traversent les obstacles même métalliques pourvu que ces derniers soient de faible épaisseur.

Le brevet contient plusieurs dessins indiquant les connexions à établir entre les bouteilles de Leyde utilisées, l'antenne de transmission et les sphères entre lesquelles jaillit l'étincelle excitatrice.

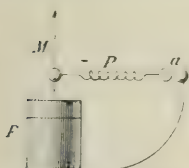


Fig. 166. — Brevet Braun. Emploi d'une bouteille de Leyde. Premier dispositif.

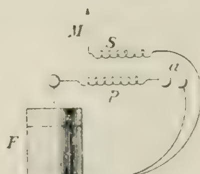


Fig. 167. — Brevet Braun. Emploi d'une bouteille de Leyde. Second dispositif.

Les figures 166 et 167 indiquent deux manières d'utiliser une seule bouteille de Leyde en mettant soit l'armature

intérieure (fig. 166), soit l'armature extérieure (fig. 167) en communication avec l'antenne; P, S, sont des spires

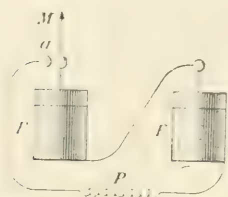


Fig. 168. — Brevet Braun. Emploi de deux bouteilles de Leyde. Premier dispositif.

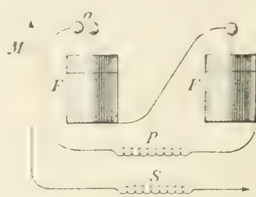


Fig. 169. — Brevet Braun. Emploi de deux bouteilles de Leyde. Second dispositif.

de faible self-induction. Les figures 168 et 169 représentent des dispositifs analogues réalisés en employant deux bouteilles de Leyde associées en cascade.

Transmission de signaux électriques sans fil sur des surfaces, par Braun. Brevet anglais n° 1863, du 26 janvier 1899, accepté le 6 janvier 1900. — Pour obvier aux difficultés que présentent les transmissions télégraphiques sans fil à travers des obstacles, l'inventeur s'est proposé de charger la surface même du sol de transmettre d'une station à l'autre les ondes électriques.

Il fait appel au fait suivant observé, dit-il, et pour les

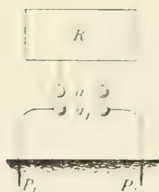


Fig. 170. — Système Braun. Premier dispositif.

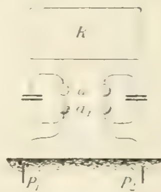


Fig. 171. — Système Braun. Deuxième dispositif.

corps conducteurs et pour les corps semi-conducteurs comme l'eau, la terre. Lorsque des courants alternatifs de haute fréquence sont fournis par des conducteurs

cylindriques, la surface externe du conducteur est le facteur important dans la transmission de l'énergie et les portions internes du conducteur jouent un rôle peu important dans cette transmission.

Les ondes produites sont conduites par des fils à deux

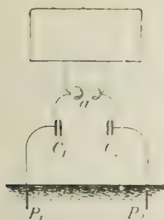


Fig. 172. — Système Braun. Troisième dispositif.

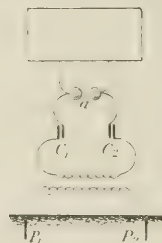


Fig. 173. — Système Braun. Quatrième dispositif.

plaques de terre d'où elles partent pour atteindre en suivant la surface du sol la station de réception.

Dans les figures 170 à 173 on voit les connexions de la bobine d'induction R avec les sphères excitatrices a, a_1, ainsi que les relations de celles-ci avec les plaques de terre P_1, P_2, soit directement, soit par l'intermédiaire de

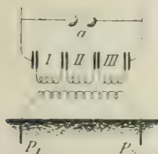


Fig. 174. — Système Braun. Cinquième dispositif.

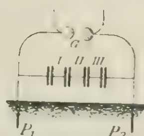


Fig. 175. — Système Braun. Sixième dispositif.

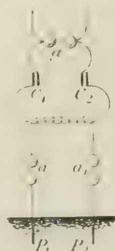


Fig. 176. — Système Braun. Septième dispositif.

condensateurs C_1, C_2. Les figures 174, 175 et 176 montrent quelques variantes parmi les dispositions susceptibles d'être données aux condensateurs, aux boules excitatri-

ces et à leur relation entre elles et avec les plaques de terre.

La figure 177 indique les dispositions générales d'un poste de transmission et d'un poste récepteur. Le poste

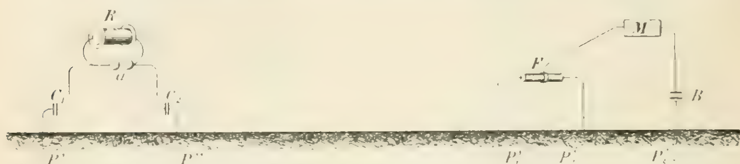


Fig. 177. — Système Braun. Dispositions générales d'un poste de transmission et d'un poste de réception.

de transmission est organisé suivant le schéma donné figure 172. Au poste récepteur les plaques de terre P'_1, P_2, sont reliées aux extrémités du cohéreur F, relié lui-même à la terre par l'intermédiaire d'un relais M et d'une pile B.

Renforcement des ondes électriques et annulation des pertes par rayonnement, réflexion et autres causes au moyen d'un condensateur, par Braun. Brevet anglais n° 5104, du 8 mars 1899, accepté le 8 mars 1900. — Après avoir rappelé que p condensateurs présentant chacun une capacité C procurent une énergie marquée par $W_1 = \frac{1}{2} p\, C\, V^2$ pour la connexion en surface ; $W_2 = \frac{1}{2} \frac{CV^2}{p}$ pour l'arrangement en cascade et que la période est $\sqrt{p}$ fois plus grande dans le premier cas et ne change pas pour le second arrangement, l'auteur indique comment il dispose les condensateurs pour éviter toute perte par rayonnement, réflexion, etc...

La figure 178 montre l'arrangement adopté pour augmenter l'énergie : les condensateurs C_1, C_2, C_3, sont associés en série, la décharge se produisant entre les sphères a_1, a_2, a_3.

En construisant les condensateurs de manière que l'armature externe de chacun d'eux entoure le plus complè-

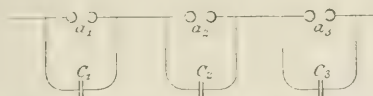


Fig. 178. — Excitateur Braun à condensateurs plans.

tement possible l'armature interne, on obtient un dispositif préférable (fig. 179).

Dans la figure 180, des bobines primaires et secondaires 1, 2, 3 sont intercalées entre chaque condensateur. — Un dispositif particulier, représenté figure 181, consiste à enfermer dans un trou pratiqué dans le sol l'une des armatures C du condensateur, la seconde armature est formée par les parois du trou, c'est-à-dire par la terre.

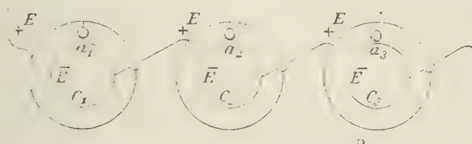


Fig. 179. — Excitateur Braun à condensateurs sphériques.

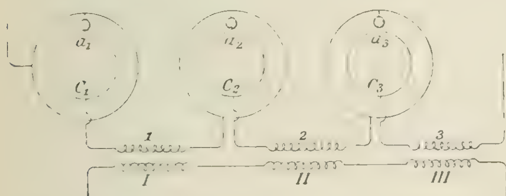


Fig. 180. — Excitateur Braun à condensateurs sphériques et à transformateurs.

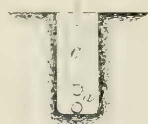


Fig. 181. — Excitateur Braun enfoui dans le sol.

Perfectionnements en télégraphie sans fil, par Braun. Brevet anglais n° 12420, du 14 juin 1899, accepté le 28 avril 1900. — L'auteur préconise le remplacement

des antennes ordinairement employées en télégraphie sans fil par des réseaux de fils s'épanouissant à partir d'un point A en a_1 a_2... (fig. 182) et réunis tous par un fil unique au cohéreur C.

On peut encore former un treillis de fils parallèles a_1

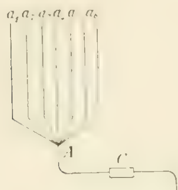


Fig. 182. — Antenne Braun. Premier dispositif.

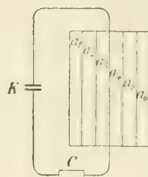


Fig. 183. — Antenne Braun. Deuxième dispositif.

a_2... (fig. 183) réunis de part et d'autre à un cohéreur C suivi d'un condensateur K.



Fig. 184. — Antenne Braun. Troisième dispositif.



Fig. 185. — Antenne Braun. Quatrième dispositif.

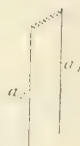


Fig. 186. — Antenne Braun. Cinquième dispositif.

On peut varier encore de bien des manières la disposition des fils ainsi multipliés, soit en formant une série

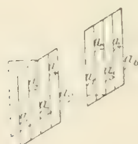


Fig. 187. — Antenne Braun. Sixième dispositif.

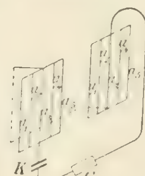


Fig. 188. — Antenne Braun. Septième dispositif.

de spires rectangulaires (fig. 184 et 185) soit en associant deux treillis de fils parallèles (fig. 187 et 188), soit enfin

en disposant deux épanouissements de fils parallèles se croisant à angle droit (fig. 189).

Au lieu de mettre directement le système adopté

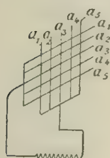


Fig. 189. — Antenne Braun. Huitième dispositif.

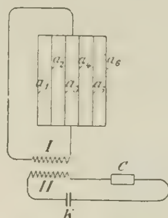


Fig. 190. — Antenne Braun avec transformateur.

comme antenne en communication avec le cohéreur, on peut intercaler une bobine d'induction (fig. 190).

Perfectionnements dans les connexions des appareils de la télégraphie sans fil, par Ch. Ed. Wilson. Brevet anglais n° 10312 du 5 juin 1900, accepté le 20 octobre 1900. — Les dispositifs décrits dans ce brevet ont pour effet d'accroître la portée des ondes produites au moyen d'une bobine d'induction donnée. L'auteur part de l'hypothèse que plus la bobine d'induction utilisée est éloignée du sol, plus puissantes sont les ondes produites et plus longue est leur portée. Il préconise donc de placer la bobine d'induction dans la nacelle d'un ballon porte-antenne.

La figure 191 donne une vue de l'ensemble de deux stations dans chacune desquelles la bobine est soustraite aux influences dues au voisinage du sol. — Deux ballons captifs A, A (auxquels on peut d'ailleurs substituer des cerfs-volants de construction convenable) portent dans leurs nacelles A′, A′ les bobines d'induction. B est l'enroulement primaire, C, l'enroulement secondaire. L'une des extrémités de l'enroulement secondaire est

reliée par l'intermédiaire d'un tube à vide E, avec une sphère conductrice D située au sommet du ballon. La seconde extrémité de l'enroulement secondaire est mis en communication par le fil W', qui suit le câble d'attache du ballon, avec la terre F par l'intermédiaire d'un tube vide E_1. Le câble d'attache et le fil W' doivent être

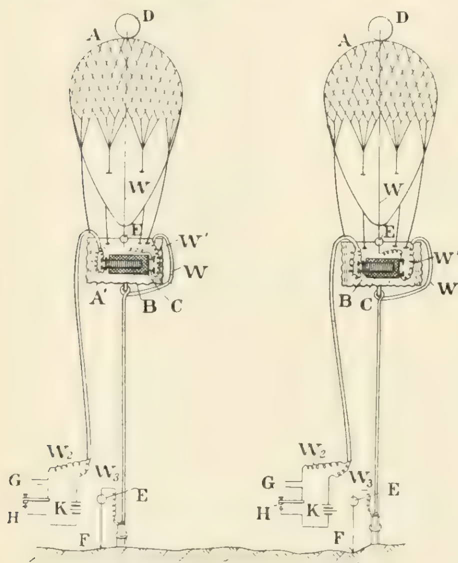


Fig. 191. — Système Wilson. Ensemble de deux stations.

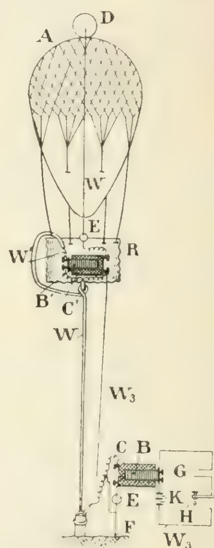


Fig. 192. — Système Wilson. Emploi de deux bobines d'induction.

isolés l'un de l'autre sur toute leur longueur. Les extrémités de l'enroulement primaire B sont reliées par les deux fils W_2 et W_3 avec une batterie K, une clef Morse H et un interrupteur G. Les fils W_2 et W_3 doivent être isolés l'un de l'autre et aussi éloignés que possible du fil W_1.

La figure 192 représente un dispositif analogue dans lequel on emploie deux bobines l'une B′ C′ dans la nacelle du ballon, l'autre B C au voisinage du sol. La

bobine située dans la nacelle a son enroulement secondaire C′ en communication d'une part avec la sphère D par l'intermédiaire du tube à vide E, d'autre part par le fil W_3 avec le sol en F. L'enroulement primaire B′ a l'une de ses extrémités reliée au pôle du secondaire qui communique, par le fil W_3, à la terre ; l'autre extrémité est mise en communication par un fil W′ avec l'un des pôles du secondaire C de la bobine située sur le sol. Le second pôle du secondaire de cette seconde bobine est reliée à la terre F par l'intermédiaire d'un tube à vide E′. L'enroulement primaire de cette seconde bobine fait partie d'un circuit comprenant une batterie K, une clef Morse H et un interrupteur G.

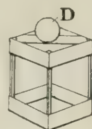


Fig. 193. — Système Wilson. Carcasse légère pour cerf-volant.

La figure 193 représente une sorte de carcasse légère de cerf-volant permettant de porter la boule D.

III. — DISPOSITIFS DE TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

LE PROBLÈME DE LA SYNTONISATION

Enoncé du problème. Son importance. — Dès que les essais de télégraphie sans fil ont été un peu nombreux et que l'on a été amené à disposer au voisinage les uns des autres plusieurs postes émettant des ondes électriques, on s'est préoccupé de découvrir des moyens d'assurer entre deux postes déterminés des communications qui ne soient pas troublées par le fonctionnement des postes voisins et que ces postes mêmes ne puissent surprendre.

Le problème consistait à accorder un oscillateur et un récepteur de telle manière qu'ils utilisent des ondes électriques d'une longueur d'onde déterminée à l'exclusion de toutes les autres. L'oscillateur devait être suivant l'expression que nous avons déjà employée (p. 86)

monochromatique ; le récepteur, de son côté, devait être pour ainsi dire isochromatique, c'est-à-dire ne devait déceler que les ondes émises par l'oscillateur à l'exclusion de toutes les autres. Le problème ainsi posé, n'est pas sans analogie avec celui que les dispositifs de multicommunication télégraphique par ondes hertziennes avec fil résolvent. Toutefois, l'absence du fil conducteur rendait assez délicate l'application des propriétés des champs interférents (voir ch. IV) au problème qui se posait alors en télégraphie sans fil.

On conçoit toute l'importance que prend cette question si l'on songe que à cause des distances relativement faibles (inférieures à 150 km) que peuvent franchir pratiquement les dispositifs de télégraphie sans fil il se produira rapidement et forcément une agglomération des stations de télégraphie hertzienne surtout au voisinage des côtes. Comment sélectionner les communications nécessaires entre ces stations groupées deux à deux ? Comment empêcher également que, soit par inavertance, soit volontairement, un excitateur voisin ne vienne troubler les relations de deux postes en communication ? On a cru tout d'abord y parvenir en utilisant des ondes de même tonalité électrique et en cherchant à accorder un système détecteur sur cette tonalité, en un mot en syntonisant la transmission.

Ce terme de syntonisation, tout d'abord utilisé pour désigner les essais faits en vue d'accorder entre eux, à l'exclusion de tout autre, un oscillateur et un récepteur donné, a été par la suite étendu à tout dispositif qui empêchait soit de surprendre les communications établies, soit de les troubler. En ce qui concerne les phénomènes qu'utilisent certains de ces dispositifs le terme de syntonisation n'a évidemment aucun sens : — Si l'on peut en effet donner, avec quelque raison, le nom de dispositifs de syntonisation à ceux préconisés par M. Marconi, par MM. Lodge et Muirhead, par M. Blondel, ce terme est

évidemment impropre à désigner les dispositifs imaginés par M. Tommasi, par M. Jégou pour assurer le secret des communications par télégraphie sans fil. Seule l'extension de ce terme, devenu impropre, peut-elle à la rigueur être acceptée.

Pour nous conformer à l'usage, nous désignerons par dispositif de syntonisation tout dispositif permettant :

Soit la communication entre deux stations A et B sans influencer une autre station C ;

Soit la réception simultanée de plusieurs communications émises par B, C, D,... et reçues par A sans troubles ; ou bien inversement la transmission simultanée de plusieurs communications émises par A et reçues respectivement et simultanément par B, C, D,... sans troubles;

Soit d'assurer le secret de transmissions télégraphiques sans fil;

Soit enfin d'empêcher d'apporter un trouble aux communications réalisées par ondes hertziennes et sans fil entre deux ou plusieurs stations.

Sans rendre les procédés de la télégraphie hertzienne avec fil comparables aux divers procédés télégraphiques qui utilisent un fil conducteur (la distinction *capitale* entre les deux procédés résidant dans la portée des communications, *forcément restreinte* en télégraphie sans fil, *presque illimitée* en télégraphie avec conducteur), la réalisation de dispositifs répondant d'une manière complète et pratique aux quatre desiderata énumérés ci-dessus, accroîtrait d'une manière très importante le champ d'application des procédés de la télégraphie sans fil.

Le problème de la syntonisation et l'amortissement des ondes électriques. — Mais le problème de la syntonisation, c'est-à-dire de l'accord d'un excitateur et d'un résonateur, est-il tout d'abord possible. M. Tissot fait remarquer d'une manière très judicieuse que la solution

pratique de ce problème est peu vraisemblable par le fait même du très grand amortissement que présentent les ondes électriques. — En ce qui concerne les ondes sonores, il est possible de constituer une source sonore qui émette un son simple tel qu'un résonateur acoustique de Helmholtz se montre seul capable de déceler le son simple émis, et cela à l'exclusion de tout autre résonateur acoustique. Alors que le résonateur en accord avec le son émis, « en syntonie », vibre énergiquement, tout autre caisse de résonance reste muette ou imperceptiblement actionnée. Les ondes sonores ont en effet un amortissement très faible. Il n'en est pas de même semble-t-il des ondes électriques, et leur amortissement est tel, qu'étant donné un excitateur d'ondes qui n'émet que des ondes de même période (excitateur monochromatique), il existe toute une série de résonateurs électriques susceptibles de fonctionner sous l'influence de cet excitateur. Alors que dans la série des résonateurs acoustiques de Helmholtz, il y en a un et un seul susceptible d'être fortement impressionné par une source sonore simple, dans la série des résonateurs électriques de Hertz il y en a un très grand nombre qu'un même excitateur fera fonctionner. On conçoit par suite que la marge laissée pour le choix du résonateur syntone d'un excitateur électrique donné soit très grande, et que par suite il sera relativement aisé de trouver le résonateur propre à surprendre les ondes électriques qui assurent la communication entre deux postes accordés. D'autre part, il sera également facile de trouver l'excitateur propre à émettre des ondes capables de troubler la transmission de ces deux postes.

Si les effets d'amortissement des ondes électriques qui ont permis à M. Poincaré [1] d'abord, puis à M. Bjer-

[1] H. Poincaré. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, août 1890. — *Archives de Genève*, 3e période, t. XXV, p. 5 et 609, 1891.)

kness [1] d'expliquer le phénomène de résonance multiple, ont l'importance pratique que leur prête M. Tissot, la recherche d'une solution du problème de la syntonisation est évidemment illusoire.

Les expériences récentes de M. Slaby. — De récentes expériences entreprises par M. Slaby et suivies d'un certain succès sembleraient cependant prouver qu'on peut encore, en dépit des considérations précédentes, espérer une solution pratique du problème de la syntonisation.



Fig. 194.
Schéma représentatif de l'état électrique d'une antenne.

M. Slaby remarque que dans tous les dispositifs de télégraphie sans fil on place le cohéreur en une région de l'antenne où il semble le moins susceptible d'être actionné. Si nous utilisons la représentation schématique qui nous a servi à présenter les propriétés des champs interférents (voir p. 165), nous pouvons supposer qu'au sommet d'une antenne réceptrice A (fig. 194) se trouve une section ventrale d'ondes stationnaires électriques dont l'antenne est le siège. Supposons pour fixer les idées qu'il s'y trouve un ventre positif V +. Supposons encore qu'au point ou l'antenne touche le sol se trouve la section nodale immédiatement consécutive N. C'est admettre que les ondes émises, que les ondes qui parcourent l'antenne, ont pour longueur d'onde quatre fois la longueur de l'antenne. Si le cohéreur situé en général en *c* au voisinage du sol décèle ces ondes, il est évident qu'il les décèlerait bien plus efficacement s'il se trouvait au sommet de l'an-

[1] V. Bjerkness. Ueber die Dampfung schneller electrischer Schwingungen. (*Wiedemann's Annalen*, t. XLIV, p. 74, 1891.

tenne. On peut même admettre que ce ne sont pas ces ondes que le cohéreur décèle mais plutôt des ondes parasites qui les accompagnent et qui se trouvent avoir une section ventrale au voisinage de la région *c* occupée par le cohéreur.

Si cette manière de voir est plausible, on doit pouvoir augmenter l'action des ondes sur le cohéreur en le plaçant à l'extrémité d'une longueur additionnelle de fil

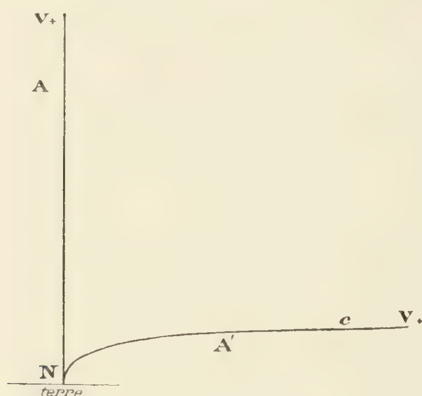


Fig. 195. — Schéma représentatif de l'état électrique d'une antenne munie à sa base d'une longueur additionnelle de fil.

réuni en N à l'antenne et de longueur égale à la longueur de l'antenne. S'il est en effet pratiquement impossible de disposer le cohéreur au sommet de l'antenne, il est très commode de le disposer à l'extrémité du second fil qui peut être dirigé horizontalement. L'ensemble des deux fils A et A' (fig. 195) constitue en définitive un champ interférent d'un quart de longueur d'onde.

On peut même aller plus loin et, en supposant que l'antenne A reçoive d'un oscillateur unique ou de plusieurs oscillateurs tout un cortège d'ondes de longueurs d'ondes différentes, se proposer de déceler chaque onde à l'exclusion de toutes les autres à l'aide d'une série de

cohéreurs disposés respectivement aux extrémités d'un groupe de fils de longueurs convenables réunis tous à la terre au point N. La figure 196 représente la distribution des ventres le long de trois fils additionnels A′, A″, A‴ et le long de l'antenne. Les ventres sont représentés par les lettres V, U et *v*.

M. Slaby [1] est parvenu à réaliser deux communications simultanées à l'aide d'une même antenne A, au pied

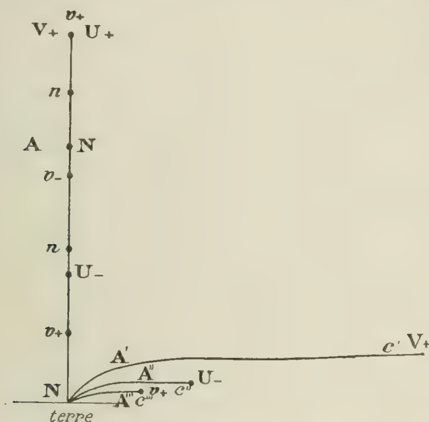


Fig. 196. — Schéma représentatif de l'état électrique d'une antenne munie à sa base de trois fils additionnels de longueurs différentes.

de laquelle étaient disposées deux longueurs additionnelles de grandeurs différentes. On augmente considérablement l'action des ondes sur le cohéreur en reliant le cohéreur à l'extrémité des fils A′, A″ par l'intermédiaire de bobines dont la forme et le mode d'enroulement dépendent de la longueur d'onde des oscillations à déceler [2]. En même temps, cette bobine intercepte les

---

(1) A. Slaby. (*Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 38, 10 et 24 janvier 1901.)

(2) Nous avons nous-même constaté ce phénomène que nous avons mis à profit dans nos dispositifs de multicommunication par ondes

ondes pour lesquelles elle n'est pas accordée. La longueur des étincelles qu'on peut tirer d'un fil rectiligne parcouru par les oscillations s'élève de 1 à 10 cm après l'introduction de cette bobine que M. Slaby nomme multiplicateur.

Pour assurer la régularité de la transmission il est utile que le transmetteur émette des oscillations électriques de longueurs d'onde déterminées. M. Slaby obtient ce résultat par l'emploi combiné d'une bobine de self-induction et d'un condensateur. Deux longs conducteurs verticaux AC, DE (fig. 197) sont réunis à leur extrémité supérieure par une bobine de forte self-induction CD. Le conducteur DE est relié directement au sol ; à la partie inférieure de l'autre se trouve un condensateur K et les deux boules AB de l'excitateur des ondes électriques. Ce dispositif permet de produire des oscillations dont la longueur d'onde ne dépend que de la capacité du condensateur et de la hauteur du fil AC. Il est donc possible de régler cette longueur d'onde.

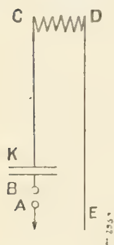


Fig. 197. — Dispositif transmetteur de M. Slaby.

A l'aide de ces dispositifs M. Slaby a effectué à Berlin des expériences dont les résultats sont des plus intéressants. Deux récepteurs étaient reliés au même paratonnerre placé sur la cheminée de l'usine centrale d'électricité sur le Schiffbauerdamm, un des quais de la Sprée. On peut admettre qu'une notable fraction des ondes se rendait directement au sol par la cheminée et était perdue

---

hertziennes et par fil. Les curseurs régulateurs que nous employons dans ces dispositifs pour accorder les divers champs interférents à la réception avec les résonateurs en accord ne sont autres que des bobines de forme et d'enroulement différents dont on peut faire à volonté varier le nombre et la forme des spires utilisées. (A. Turpain. *Sur la multicommunication en télégraphie au moyen des ondes électriques*, 23 juin 1898.

pour les récepteurs. Ceux-ci ne recevaient que la fraction assez faible qui parvenait à la tige du paratonnerre. Cependant, cela était suffisant pour assurer une communication régulière [1].

Les stations transmettrices étaient installées l'une à l'École technique de Charlottenburg, dans le laboratoire de M. Slaby, l'autre dans l'usine des câbles de la Haute-Sprée, à Schöneweide : la distance est de 4 km pour la première, de 15 km pour la seconde.

A Charlottenburg, l'antenne d'émission était conduite de la fenêtre à l'extrémité d'un mât de 16 m, dressé sur le toit du bâtiment. La plus grande masse du bâtiment se trouvait sur le trajet des ondes.

A Schöneweide, l'antenne était tendue entre deux cheminées : les ondes devaient traverser une grande partie de la ville de Berlin.

Malgré ces difficultés, la transmission s'est effectuée d'une manière très régulière, avec une vitesse de 72 lettres

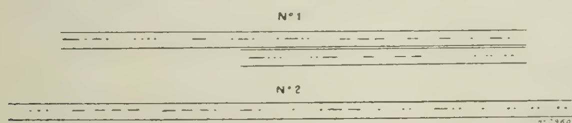


Fig. 198. — Fac-similé de deux portions de bandes télégraphiques tracées simultanément à l'aide du dispositif de M. Slaby. La bande n° 1 provient du récepteur en relation avec Charlottenburg ; la bande n° 2 de celui en relation avec Schöneweide.

par minute. La figure 198 donne une reproduction d'après une photographie de deux portions de télégramme, reçues simultanément à Berlin, la bande n° 1 est celle du

---

[1] Nous rappellerons à propos de l'utilisation d'un paratonnerre comme antenne de réception que M. Tissot a depuis le mois de mai 1900, utilisé avec succès le paratonnerre d'un phare ou le mat en fer d'un vaisseau comme antenne réceptrice. Il semble donc que la concentration des ondes par un paratonnerre soit assez notable pour permettre d'actionner un cohéreur lié au paratonnerre utilisé.

récepteur accordé avec Charlottenburg, la bande n° 2, celle du récepteur accordé avec Schöneweide. La longueur d'onde des oscillations émises par le transmetteur de Charlottenburg (4 km) était de 640 m, celle des oscillations émises par le transmetteur de Schöneweide (15 km) était de 240 m.

Analyse de brevets récents

Perfectionnements dans la transmission des impulsions et signaux électriques ainsi que dans les appareils employés à cet effet, par Guillaume Marconi. Brevet anglais n° 12 039 du 2 juin 1896, accepté le 2 juillet 1897.

Spécification provisoire [1]. — D'après cette invention les actions ou manifestations électriques sont transmises à travers l'air, l'eau, la terre, au moyen d'oscillations de haute fréquence.

A la station de départ j'emploie une bobine de Ruhmkorff ayant dans son circuit primaire une clef Morse ou un autre dispositif permettant de fermer et d'interrompre le courant. Entre les pôles de la bobine se trouvent soit des boules isolées séparées par un petit intervalle, ou par un grand espace vide, ou par de l'air ou un gaz comprimé, ou par un liquide isolant contenu dans un vase isolant, soit encore des tubes séparés par des intervalles semblables et portant des disques glissants ; ces différents dispositifs servent à produire les oscillations désirées.

Je trouve que la bobine de Ruhmkorff ou tout autre appareil semblable fonctionne bien mieux si le contact

---

[1] Etant donné les nombreuses réclamations de priorité qui ont suivi la publication du premier brevet anglais de M. Marconi, nous croyons intéressant de donner une traduction complète des deux spécifications de ce brevet.

de l'interrupteur placé dans le circuit primaire est animé d'une rotation. Les décharges produites dans le circuit secondaire sont plus puissantes et plus régulières et le contact de platine du vibrateur se garde bien plus propre et reste en état un laps de temps incomparablement plus long que si ce contact était fixe. Je fais tourner ce contact au moyen d'un petit moteur électrique actionné par le courant qui traverse la bobine ou par un autre courant. Dans quelques cas j'emploie un moteur mécanique (non électrique).

La bobine peut d'ailleurs être remplacée par une autre source de tension électrique élevée.

Au poste récepteur se trouve le circuit d'une batterie locale contenant un récepteur télégraphique ordinaire ou un appareil de signal ou tout autre appareil qu'il peut être nécessaire de faire fonctionner à distance ainsi qu'un dispositif pour fermer le circuit. Ce dispositif est actionné par les oscillations du transmetteur.

Le dispositif que j'emploie consiste en un tube contenant une poudre ou limaille conductrice, ou en conducteurs en contact imparfait. Chaque extrémité de la colonne de limaille ou chaque conducteur terminal du contact imparfait est relié à une plaque métallique, de préférence de grandeur convenable, de telle sorte que le système résonne électriquement à l'unisson avec les oscillations électriques reçues du transmetteur. Dans quelques cas je donne aux conducteurs la forme d'un résonateur ordinaire de Hertz consistant en deux conducteurs semi-circulaires, mais avec cette différence qu'à la place du micromètre se trouve un de mes tubes sensibles. Les autres extrémités des conducteurs semi-circulaires sont reliées à de petits condensateurs.

J'ai trouvé que les meilleures règles pour fabriquer les tubes sensibles sont les suivantes :

1° La colonne de limaille ne doit pas être longue ; les

effets sont bien plus sensibles et plus réguliers avec des tubes contenant des colonnes de limaille n'excédant pas une longueur de deux tiers de pouce (1,7 cm).

2° Le tube contenant la limaille doit être scellé.

3° Chaque fil qui passe à travers le tube, afin d'établir une communication électrique, doit se terminer par des pièces de métal ou de petites boules de surface relativement large, ou de préférence par de gros fils d'un diamètre égal au diamètre intérieur du tube de manière à forcer la poudre ou la limaille à être comprise entre eux.

4° S'il est nécessaire d'employer une batterie locale de plus grande force électromotrice que celle ordinairement employée avec les tubes préparés comme il est dit ci-dessus, la colonne de poudre doit être plus longue et divisée en plusieurs sections par des pistons métalliques, la poudre de chaque section étant dans les mêmes conditions que dans un tube ne comprenant qu'une seule section. Quand des oscillations ne sont pas envoyées par le transmetteur, la poudre ou le contact imparfait ne conduit pas le courant et le circuit de la batterie locale est coupé, mais quand la limaille ou le contact imparfait est influencé par les oscillations électriques, le tube devient conducteur et le circuit est fermé.

Je trouve du reste que, une fois traversé par le courant, la poudre ou le contact reste conducteur alors que les oscillations de la station d'émission ont cessé ; mais si on le choque ou le frappe le circuit est coupé.

Je produis le choc automatiquement en employant le courant qui est établi sous l'influence des ondes électriques à travers le tube sensible, à entretenir un trembleur semblable à celui d'une sonnerie électrique qui frappe le tube ou le contact imparfait. Le courant cesse alors ainsi que tout mouvement engendré par ce courant qui, par ce moyen, est interrompu automatiquement et presqu'instantanément jusqu'à ce qu'une nouvelle oscilla-

tion émanée du transmetteur détermine à nouveau la même suite de phénomènes. Dans certains cas je préfère placer le trembleur et les appareils dans le circuit même qui contient le tube ou contact sensible ; dans d'autres cas je préfère placer le trembleur et les appareils dans un autre circuit qui travaille en accord avec le premier au moyen d'un relais. C'est au moyen des actions du courant qui traverse le tube ou contact sensible quand les oscillations l'influencent que je préfère mettre en mouvement les appareils qui interrompent automatiquement le même courant.

Afin de prévenir l'action de la self-induction du circuit local sur le tube ou contact sensible, et aussi pour détruire les effets de la petite étincelle qui se produit lors de la rupture du circuit contenant le tube ou contact imparfait, et ceux du contact vibrant du trembleur ou du contact mobile de la palette du relais, je place en dérivation entre les portions du circuit périodiquement coupé un condensateur de capacité convenable ou une bobine de résistance convenable. La self-induction de cette bobine est telle qu'elle puisse neutraliser la self-induction du circuit considéré. J'emploie de préférence comme dérivation en divers points du circuit des conducteurs ou mieux des semi-conducteurs de grande résistance et de faible self-induction tels que des crayons de charbon ou bien encore des tubes contenant de l'eau ou des liquides convenables. Ces semi conducteurs sont reliés avec les points du circuit local sujets à atteindre des différences de potentiel telles que sous l'influence de ces à-coups de courant le tube ou contact sensible ne peut plus fonctionner régulièrement.

Dans quelques cas, du reste, je trouve préférable d'employer un trembleur indépendant mû par le courant d'une autre batterie. Ce trembleur est mis à l'abri des à-coups ou des vibrations au moyen des dispositifs que j'ai décrits. Ce trembleur est entretenu en marche pen-

dant tout le temps que dure une émission d'ondes électriques. Comme il a été dit, le tube ou contact sensible ferme le circuit de la pile locale, dans lequel sont insérés les appareils que l'on désire utiliser, pendant le temps de la transmission des oscillations électriques. Les vibrations mécaniques coupent le circuit dès que les oscillations du transmetteur cessent. Quand on transmet à travers l'air on peut désirer que le signal et les ondes soient reçus dans une direction déterminée. Il peut être également nécessaire de transmettre des actions électriques à la plus grande distance possible, sans fil. Pour cela je place le producteur d'oscillations au foyer ou sur la ligne focale d'un réflecteur dirigé vers la station de réception et je place le tube ou le contact imparfait du dispositif récepteur dans un semblable réflecteur dirigé vers l'appareil transmetteur.

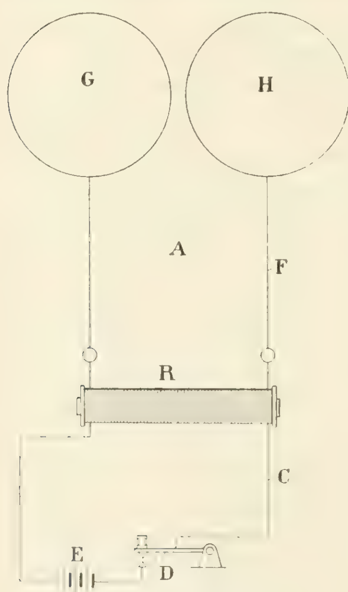


Fig. 199.
Schéma du transmetteur Marconi.

Quand il s'agit de transmettre à travers la terre ou l'eau, je relie l'une des extrémités du tube ou du contact imparfait à la terre et l'autre extrémité à des conducteurs ou plaques placés en l'air et isolés du sol.

Je trouve également préférable de réunir le tube ou le contact imparfait au circuit local au moyen de minces fils ou à travers deux petites bobines de fil fin isolé, enroulé de préférence sur un noyau en fer.

2 juin 1896.

Spécification complète. — Mon invention est relative à la transmission de signaux au moyen d'oscillations électriques de grande fréquence qui sont envoyées dans l'espace ou dans les conducteurs.

Afin que ma description puisse être comprise, avant d'entrer dans les détails, je décrirai la forme la plus simple de mon invention qui est représentée par les figures 199 et 200.

A est l'appareil transmetteur (fig. 199) et B le récep-

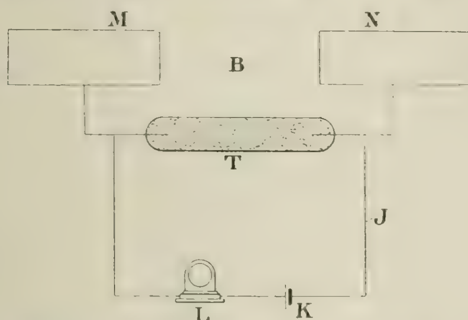


Fig. 200. — Schéma du récepteur Marconi.

teur (fig. 200), placés à un quart de mille environ l'un de l'autre.

Dans l'appareil transmetteur (fig. 199) R est une bobine d'induction ordinaire (une bobine de Ruhmkorff ou un transformateur).

Son circuit primaire C est relié par le moyen d'une clef D à une batterie E et les extrémités de son circuit secondaire F sont reliées à deux sphères isolées ou à des conducteurs G, H, fixés à une petite distance l'un de l'autre.

Quand le courant de la batierie E est envoyé à travers le primaire de la bobine d'induction, des étincelles se produisent entre les sphères G, H, et par suite l'espace, tout autour des sphères, éprouve une perturbation, conséquence de ces radiations ou ondes électriques.

Le dispositif A est habituellement appelé un radiateur de Hertz et les effets qui sont propagés à travers l'espace sont nommés radiations hertziennes.

Le récepteur B (fig. 200) consiste en un circuit J qui comprend une batterie ou pile K, un appareil récepteur L et un tube T contenant une poudre ou limaille métallique. Chaque extrémité de la colonne de limaille est reliée à chacune des plaques conductrices M, N de grandeur convenable qu'il est préférable de choisir en accord avec la longueur d'onde de la radiation émise par le transmetteur.

Le tube contenant la limaille peut être remplacé par un contact électrique imparfait tel que deux pièces de métal non poli en contact, ou un cohéreur, etc.

La limaille du tube T n'est pas, dans les conditions ordinaires, conductrice de l'électricité et le courant de la pile K ne peut traverser l'appareil, mais quand le récepteur est influencé par des ondes électriques convenables, la limaille du tube T devient conductrice (et le demeure jusqu'à ce que le tube soit choqué ou frappé) et le courant passe à travers l'appareil.

Par ces moyens, les ondes électriques qui sont envoyées par l'appareil transmetteur agissent sur le récepteur de manière à ce que le courant circule dans le circuit J et puisse être utilisé à dévier une aiguille qui décèle les impressions envoyées par le transmetteur.

Les figures 201 à 214 montrent les dispositifs d'appareils plus complets de la forme simple d'appareils représentés par les figures 199 et 200.

Je décrirai ces figures dans leurs lignes générales avant de décrire les perfectionnements en détail.

La figure 205 est un dessin des appareils d'une station réceptrice. Dans cette figure *k*, *k*, sont les plateaux correspondant à M, N, dans la figure 200. *g* est la batterie représentée par K dans la figure 200, *h* est le récepteur

qui était représenté par T, *n* est un relais commandant, à la manière ordinaire, l'appareil *h*.

p est un trembleur ou frappeur, semblable à celui d'une sonnerie électrique, qui est mis en mouvement par le courant qui traverse l'appareil.

La figure 201 représente les appareils de la station de

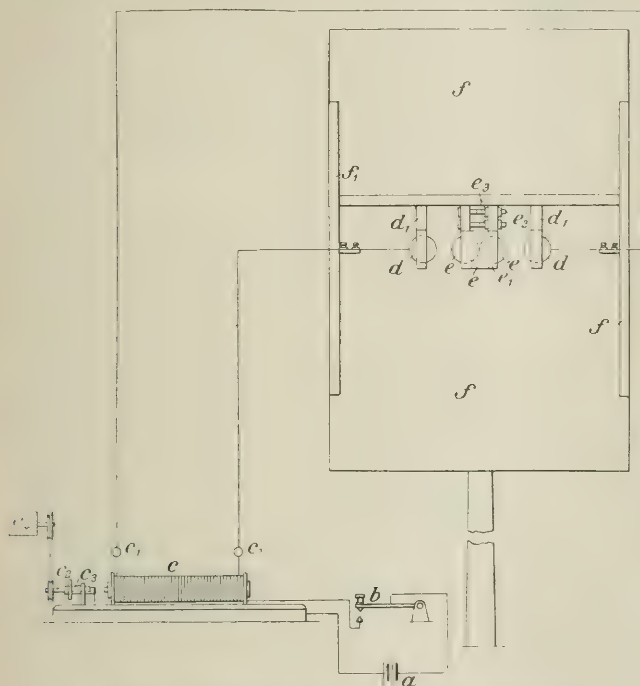


Fig. 201. — Détails du poste transmetteur Marconi.

transmission; *e*, *e* sont les deux sphères qui sont représentées par G, H dans la figure 199.

c est une bobine d'induction, représentée dans la figure 199 par R. *b* est la clef qui est indiquée, figure 199, par D, et *a* la batterie E.

La figure 202 est une section verticale du radiateur ou

producteur d'ondes, monté sur la ligne focale d'un réflecteur, cylindre parabolique, *f*, dans lequel une vue des sphères *ee* de la figure 201 est donnée.

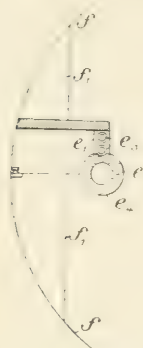


Fig. 202. — Section verticale d'un radiateur à réflecteur.

La figure 206 est un dessin complet des plaques réceptrices *k*, *k* et du tube sensible *j*.

La figure 207 est une forme modifiée du tube sensible.

La figure 211 est une modification de l'oscillateur, dans laquelle les sphères *e*, *e* et *d*, *d* sont montées dans un tube en ébonite d_3.

La figure 203 est une autre modification du producteur d'ondes ; aux sphères on a substitué des hémisphères.

La figure 210 est une forme modifiée du récepteur dans lequel les plaques *k*, *k* sont courbes au lieu d'être planes.

La figure 212 est une autre forme du transmetteur dans laquelle deux larges plaques métalliques t_2, t_2 sont employées.

La figure 213 montre une modification des dispositifs de la station de transmission, et la figure 214 une modification des dispositifs de la station de réception. Ces dispositifs permettent d'échanger des signaux à travers les collines ou les montagnes.

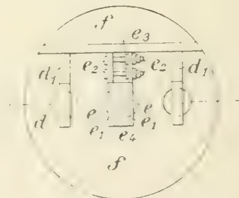


Fig. 203. — Oscillateur Marconi à hemisphères.

La figure 208 montre un détecteur employé pour déterminer la grandeur la plus convenable à donner aux plaques *k*, *k* du récepteur.

La figure 204 montre un interrupteur servant à la bobine d'induction du transmetteur.

La figure 209 montre une résistance à eau dont l'usage sera ultérieurement expliqué.

Mon invention indique en détails la manière dont ces appareils sont faits et comment ils sont reliés entre eux. Avec certains d'entre eux, je suis en mesure de transmettre des signaux Morse, d'entretenir des appareils télégraphiques ordinaires et autres dispositifs analogues. Avec des modifications convenables de ces appareils, il est possible de transmettre des signaux non seulement à travers de faibles obstacles, tels que des murs, des bois, etc., mais aussi à travers des masses de métal, ou des collines, ou des montagnes qui peuvent être placées entre le transmetteur et le récepteur.

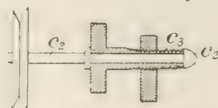


Fig. 204. — Système Marconi. Contact de l'interrupteur de la bobine d'induction.

Je décrirai d'abord les perfectionnements que j'ai apportés au récepteur.

Mon premier perfectionnement consiste dans la production d'un choc automatique du tube à limaille ou d'un heurt du contact imparfait, tel que aussitôt après que l'action électrique du transmetteur a cessé, le tube ou contact imparfait reprenne sa résistance primitive. Cette partie de mon invention est indiquée figure 205; *j* représente le tube sensible et *p* le trembleur ou frappeur. Le courant qui traverse le contact ou tube sensible et qui prend naissance sous l'influence des ondes électriques du transmetteur, est employé à actionner (soit directement, soit indirectement, au moyen d'un relais) un trembleur semblable à celui d'une sonnerie électrique. Ce trembleur peut être arrangé de telle sorte que l'effet de l'étincelle de son contact vibrant et l'à-coup de courant produit par la self-induction, etc., soient neutralisés ou supprimés.

Le petit marteau du trembleur frappe le tube ou le

contact imparfait, arrête le courant et par suite fait cesser les actions mêmes du dit courant. Par ce moyen, le courant s'interrompt lui-même automatiquement et presque instantanément jusqu'à ce qu'une nouvelle onde du transmetteur rende de nouveau conducteur le tube sensible ou le contact imparfait.

Je constate du reste que le courant qui peut être lancé à travers le tube ou le contact imparfait n'est pas suffisamment intense pour entretenir un trembleur ordinaire ou un récepteur télégraphique.

Fig. 205. — Détails du poste récepteur Marconi.

Pour surmonter cette difficulté, au lieu d'obliger le courant du circuit qui contient le tube sensible ou le contact imparfait à entretenir le trembleur et le récepteur, j'emploie ledit courant à actionner un relais sensible (*n*, fig. 205) qui ouvre et ferme le circuit d'une forte batterie de piles, de préférence du type Leclanché. Ce courant, qui est plus fort que le courant qui parcourt le tube sensible ou le contact imparfait, entretient le trembleur

et les autres appareils. Pour empêcher les étincelles et à-coups de courant causés par la self-induction du relais d'agir sur le récepteur, certains moyens peuvent être employés, semblables à ceux indiqués plus haut, avec les renseignements relatifs au frappeur ou trembleur. Dans cet appareil, j'ai fait en sorte que le relais *n* possède une petite self-induction et présente une résistance d'environ 1 000 ohms. Il est préférable, pour la régularité du fonctionnement, d'employer un courant de 1 milliampère ou moins. Le trembleur ou frappeur *p* placé dans le circuit du relais *n* est semblable en construction à celui d'une petite sonnerie électrique, mais ayant une palette plus courte. J'ai employé un trembleur présentant une résistance de 1 000 ohms, ayant un noyau de bon fer doux, divisé dans le sens de la longueur comme ceux des électro-aimants les plus employés en télégraphie.

Le trembleur doit être ajusté avec soin. Le choc doit être dirigé, de préférence, légèrement vers le haut, afin d'empêcher la limaille de se tasser. Au lieu de frapper le tube, la poudre peut être remuée par de légers mouvements externes ou internes donnés à l'un des arrêts (ou aux deux) du tube sensible (représentés par j_1, j_2, fig. 206); le trembleur *p* (fig. 205) est alors remplacé par un petit électro-aimant ou par un aimant ou un vibrateur dont l'armature est reliée à l'arrêt.

Je dispose ordinairement le récepteur *h* dans une dérivation du circuit qui entretient le trembleur *p*. Il peut encore être établi en série avec le trembleur.

Il est désirable que, si le récepteur est placé sur une dérivation du circuit qui comprend le trembleur ou frappeur, il ait une résistance égale à celle du trembleur *p*.

Un autre perfectionnement consiste dans le mode de construction du tube sensible.

J'ai indiqué que le tube sensible ou le contact impar-

fait tel que celui représenté par T (fig. 200), n'est pas susceptible d'être utilisé.

Mon tube, tel qu'il est représenté par la figure 206, s'il est construit avec soin, est très utilisable, et au moyen du relais et du trembleur, etc., peut être employé aussi commodément qu'un appareil télégraphique ordinaire.

Dans la figure 206, j est le tube sensible contenant deux

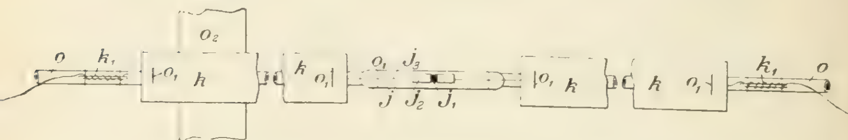


Fig. 206. — Cohereur Marconi et plaques métalliques réceptrices.

tampons métalliques j_2 reliés au circuit, entre lesquels est placé la poudre conductrice j_1. Les deux tampons doivent être de préférence en argent, ils peuvent être formés de deux petits morceaux de fil d'argent de diamètre exactement égal au diamètre intérieur du tube j, de manière à y pénétrer à frottement. Les tampons j_2 j_2 sont reliés à deux morceaux de fil de platine j_3. Le tube est clos et les deux fils de platine sont scellés dans le verre aux deux extrémités. Plusieurs métaux peuvent être employés pour produire la poudre ou limaille j_1, mais je préfère employer un mélange de deux ou plusieurs métaux différents. Je trouve que le nickel dur est le meilleur métal et je préfère ajouter à la limaille de nickel environ 4 p. 100 de limaille d'argent dur, qui augmente beaucoup la sensibilité du tube pour les ondes électriques. En augmentant la proportion de poudre d'argent, la sensibilité du tube s'accroît, mais il vaut mieux pour les usages ordinaires ne pas employer un tube de trop grande sensibilité, qui pourrait être influencé par l'électricité atmosphérique.

La sensibilité peut aussi être augmentée par l'addition

d'une très petite trace de mercure à la limaille, en mélangeant jusqu'à ce que le mercure soit absorbé. Le mercure ne doit pas être en proportion telle qu'il agglomère la limaille, et un globule presque imperceptible est suffisant pour un tube. Au lieu de mélanger le mercure avec la poudre, on peut obtenir les mêmes effets en amalgamant légèrement les surfaces planes des tampons qui sont en contact avec la limaille. Très peu de mercure doit être employé, il suffit de rendre brillante la surface des tampons métalliques sans qu'il reste une couche de mercure ou des globules apparents.

La grosseur du tube et la distance entre les deux arrêts ou tampons métalliques peut varier entre certaines limites ; la grandeur de l'intervalle réservé à la poudre doit être proportionnée à la grosseur des grains de limaille.

Je préfère construire mes tubes sensibles avec les dimensions suivantes : le tube j a 1,5 pouce (3,8 cm) de longueur et 1/10 ou un 1/12 de pouce (0,21 à 0,25 cm) de diamètre intérieur. La longueur des tampons j_2 est à peu près de 1/5 de pouce (0,5 cm), et l'intervalle entre les tampons j_2, j_2 est à peu près de 1/30 de pouce (0,085 cm).

Je constate que plus l'intervalle compris entre les tampons est petit et rétréci, plus le tube est sensible, mais cet espace ne peut, dans les circonstances ordinaires, être excessivement rétréci sans nuire à la sûreté de la transmission.

On doit faire en sorte que les tampons j_2, j_2 bouchent très exactement le tube, afin que la limaille ne s'échappe pas de l'intervalle compris entre eux, ce qui détruirait bientôt l'action du tube sensible.

La limaille métallique ne doit pas être fine, mais plutôt grossière, telle que peut la produire une large lime bâtarde.

La limaille doit être choisie d'un grain et d'une grosseur uniforme.

La limaille trop fine ou trop grossière doit être séparée par le souffle ou le tamisage.

Il est utile que la limaille soit sèche et exempte de graisse et de crasse, et la lime qui sert à la produire doit être souvent nettoyée et séchée et employée quand elle est chaude.

La limaille ne doit pas être comprimée entre les tampons mais plutôt libre, et telle que, lorsque le tube est frappé, la limaille puisse être facilement remuée.

Le tube *j* doit être scellé, mais il n'est pas essentiel qu'il soit vide d'air si ce n'est de celui qui s'échappe lors de l'élévation de température produite en scellant le tube. On doit faire bien attention à ne pas trop chauffer le tube dans la partie centrale en le scellant, ce qui oxyderait les surfaces des tampons d'argent ainsi que la limaille et diminuerait la sensibilité. J'emploie pour sceller le tube, la flamme du chalumeau à hydrogène.

Une certaine raréfaction de l'air est cependant utile et j'ai produit une raréfaction d'environ 1/1000 d'atmosphère obtenue à l'aide d'une pompe à mercure.

Dans ce cas, on doit augmenter la longueur du petit tube de verre *j* (fig. 206), qui est mis en communication avec la pompe, puis ensuite scellé à la manière ordinaire.

Si le tube sensible a été bien fait, il doit être sensible à l'effet d'induction d'une sonnerie électrique ordinaire quand elle est placée à un ou deux mètres du tube.

Un tube sensible bien préparé doit interrompre instantanément le courant qui le traverse au moindre choc ou heurt, pourvu qu'il soit inséré dans un circuit où se trouve une petite self-induction et une faible force électromotrice telle que celle d'une simple pile.

Afin de conserver le tube sensible *j* en bon état, il est utile, mais non absolument nécessaire, que le courant qui le traverse n'excède pas un milliampère.

Si un courant plus intense est nécessaire, plusieurs tubes peuvent être placés en parallèle, pourvu qu'ils soient tous frappés par le trembleur, mais ce dispositif n'est pas toujours aussi satisfaisant qu'un simple tube.

Il est préférable, quand on se sert de tubes sensibles du type que j'ai décrit, de ne pas insérer dans le circuit avec le tube, plus d'une pile du type Leclanché, car une force électromotrice plus élevée que 1,5 volt est susceptible d'entretenir un courant à travers le tube, alors qu'aucune onde électrique n'est envoyée.

Je puis cependant construire des tubes sensibles susceptibles de travailler avec de plus grandes forces électromotrices.

La figure 207 montre un de ces tubes. Dans ce tube, au

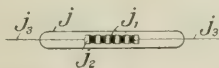


Fig. 207. — Cohéreur Marconi à plusieurs intervalles.

lieu d'un intervalle rempli de limaille se trouvent plusieurs intervalles j_1, j_1, séparés par des tampons formés de fils d'argent. Un tube ainsi construit, en observant les règles indiquées pour la construction de mes tubes, peut servir convenablement si la force électromotrice de la batterie dans le circuit de laquelle le tube est placé, égale autant de fois 1,2 volt qu'il y a d'intervalles j_1.

Avec ce tube, il est bon de ne pas utiliser un courant dépassant une intensité de un milliampère.

La figure 206 montre aussi les plaques *k*, *k* qui sont jointes chacune à chaque extrémité du tube sensible et qui correspondent aux plaques MN de la figure 200.

Les plaques *k* (fig. 206) sont en cuivre ou en un autre métal d'un demi-pouce (1,24 cm) ou plus de largeur, et peuvent avoir 1/60 de pouce d'épaisseur (0,042 cm) et de préférence d'une longueur telle qu'elles soient en

accord avec la longueur d'onde des oscillations électriques transmises.

Le moyen que j'adopte pour fixer la longueur qu'il convient de donner aux plaques *k k* est le suivant : — Je colle une bande rectangulaire d'étain (voir fig. 208) *m* d'environ 20 pouces de long (la longueur dépend de la longueur d'onde supposée que l'on veut mesurer) au moyen d'une solution faible de gomme sur un plan de verre m_1 (fig. 208). Alors, au moyen de la pointe d'un canif très

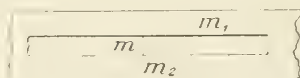


Fig. 208. — Détecteur d'ondes Marconi.

aiguisé, je coupe par le milieu la bande d'étain en traçant un trait de division m_2. Si ce plan de verre est placé un peu loin de l'origine des ondes et dans une position telle que les bandes d'étain soient à peu près parallèles à la ligne joignant les centres des deux sphères du transmetteur, des étincelles éclatent d'une bande à l'autre en m_2. Quand la longueur des bandes d'étain *m* a été suffisamment ajustée à la longueur d'onde émise par l'oscillateur, les étincelles s'observent à une distance du producteur d'ondes d'autant plus grande que les bandes sont d'une longueur plus convenable. En allongeant ou en diminuant les bandes, il est alors facile de trouver la longueur la mieux appropriée à la longueur des ondes émises par l'oscillateur. La longueur ainsi trouvée est la longueur la meilleure à donner aux plaques *k*, ou mieux, elles doivent être d'un demi-pouce plus courte pour tenir compte de la longueur du tube sensible *j* (fig. 206) relié à elles.

Les plaques *k*, le tube *j*, etc., sont attachés à un mince tube de verre *o*, de préférence de moins de 12 pouces de longueur, solidement fixé à l'extrémité d'une robuste

pièce de bois o_2, ou bien le tube sensible *j* peut être fixé solidement aux deux extrémités, c'est-à-dire de préférence attaché par les extrémités du tube contenant la limaille et non pas aux extrémités du tube *oo* qui sert de support.

Il est aussi possible d'actionner le trembleur et le récepteur ou tout autre appareil au moyen d'un tube à intervalles multiples, comme celui de la figure 207, directement placé dans le circuit, mais je préfère, quand cela est possible, travailler avec un tube à un seul intervalle et un relais comme il a été dit. Avec un trembleur sensible et construit spécialement, il est aussi possible de placer le trembleur et un tube à un seul intervalle sur le même circuit, sans relais.

Afin d'accroître la distance à laquelle le récepteur peut être actionné par les radiations du transmetteur, je place le récepteur (c'est-à-dire le tube sensible et les plaques), sur la ligne focale d'un réflecteur parabolique cylindrique *l* (fig. 210), de préférence en cuivre et dirigé vers la station d'émission.

En déterminant la longueur la plus convenable des plaques du récepteur au moyen du détecteur représenté figure 208, il est bon de placer le détecteur au foyer ou sur la ligne focale du réflecteur, parce que la longueur des bandes et des plaques, qui donnent les meilleurs résultats avec un réflecteur, diffère un peu de la longueur qui donne les meilleurs résultats sans réflecteurs.

Le réflecteur *l* (fig. 210) doit être de préférence disposé verticalement et d'ouverture égale au moins ou double de la longueur d'onde émise par le transmetteur.

Il est plus avantageux que la distance focale du réflecteur soit égale au quart ou au trois quarts de la longueur d'onde des oscillations utilisées.

La plaque *k* (fig. 210) peut être remplacée par des tubes ou par d'autres formes de conducteurs.

Un nouveau perfectionnement a pour but d'éviter les troubles électriques qui sont produits par le trembleur et les autres appareils voisins du circuit du tube sensible. Ces effets redonnent au tube sa conductibilité dès que le trembleur l'a détruite ainsi que cela a été indiqué.

J'évite cela en introduisant dans le circuit, aux endroits marqués p_1, p_2, q, h_1 (fig. 205), de grandes résistances ayant une aussi faible self-induction que possible. L'action de ces grandes résistances est d'empêcher une quantité appréciable du courant de les traverser quand les appareils fonctionnent et cependant d'offrir un chemin facile au courant de haute tension qui prend naissance au moment où le circuit est coupé. De cette manière, on empêche les étincelles aux contacts et les à-coups soudains de courant qui restaurent ou maintiennent la conductibilité du tube sensible.

Ces bobines peuvent commodément être faites par un enroulement de fil (de préférence en platine) et un double enroulement est souvent indiqué pour éviter les effets de self-induction.

Dans la figure 205 p_2 est une de ces bobines de résistance qui est insérée dans le circuit comprenant le contact vibrant du trembleur p. J'emploie dans l'appareil une bobine qui possède une résistance égale à environ quatre fois la résistance du trembleur p.

p_1 représente une semblable résistance (égale aussi à environ quatre fois la résistance du trembleur) insérée en dérivation aux extrémités du conducteur du trembleur.

Une résistance semblable q (fig. 205) est placée en dérivation aux bornes du relais n (c'est-à-dire aux extrémités des fils qui sont reliés au circuit contenant le tube sensible).

La bobine q doit, de préférence, avoir une résistance d'environ trois ou quatre fois la résistance du relais.

Une résistance semblable h_1, d'environ quatre fois la

résistance du récepteur est insérée en dérivation aux bornes de l'appareil.

En dérivation aux bornes du relais (c'est-à-dire dans le circuit que ferme la palette du relais) il est bon de placer une résistance liquide *s* constituée par une série de tubes dont un est représenté dans la figure 209 partiellement rempli d'eau acidulée par l'acide sulfurique. Le nombre de ces tubes en série doit être d'environ dix pour un circuit de 15 volts. Par suite de la force contre-électromotrice, le courant de la batterie locale ne peut les traverser alors que la haute tension produite par l'à-coup de courant au moment de l'ouverture du circuit dans le relais s'annule à travers ces tubes sans produire d'étincelles perturbatrices au contact mobile du relais.



Fig. 209.
Système Marconi.
Résistance liquide.

Une résistance à double enroulement de fil de platine peut être employé au lieu de tubes à eau pourvu que la résistance soit d'environ 20 000 ohms.

Une résistance semblable à *h* doit être insérée en dérivation aux bornes de tout appareil ou résistance qui présente de la self-induction et qui est relié au récepteur ou simplement voisin de lui.

Des condensateurs de capacité convenable peuvent être substitués aux bobines ci-dessus mentionnées, mais je préfère employer des bobines ou des résistances à eau.

Un autre perfectionnement a pour but d'empêcher les oscillations de haute fréquence déterminées dans les plaques du récepteur par le transmetteur qui passent à travers le tube sensible de retourner par les fils de la batterie locale et alors de faire sentir leurs effets sur le tube ou le contact sensible.

Je préviens cet effet en reliant les fils de la batterie au tube sensible ou aux plaques reliées au tube, au moyen

de petites bobines (voir k_1 dans les figures) possédant de la self-induction. Ces bobines peuvent être appelées étouffoirs, elles sont formées par un enroulement à la manière ordinaire de faible longueur (environ 1 m) d'un fil mince et bien isolé roulé sur un noyau (de préférence en fer) de deux ou trois pouces de long (5 à 7,6 cm).

Un autre perfectionnement consiste dans une forme modifiée des plaques reliées au tube sensible afin de rendre possible la disposition du récepteur dans un réflecteur parabolique circulaire ordinaire. Cette partie de mon invention est dessinée figure 210, dans laquelle l est un réflecteur concave ordinaire. Dans ce cas les plaques k, k sont courbes et reliées par une extrémité au tube sensible j et par l'autre à un petit condensateur formé par deux plaques métalliques k_2 d'environ un pouce carré (6,45 cm²) ou plus placées en face l'une de l'autre et séparées par une plaque isolante k_3. p est le trembleur. Le condensateur peut être enlevé sans altérer beaucoup les effets obtenus.

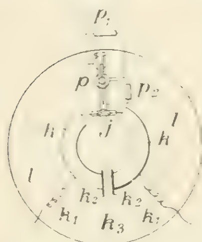


Fig. 210. — Récepteur Marconi à plaques métalliques courbes et à réflecteur.

Les connexions avec le circuit local sont faites par l'intermédiaire de deux petites bobines étouffoirs k_1, k_1 comme cela a été décrit.

L'ajustement de tout le dispositif ressemble à celui qui a été déjà décrit pour les autres récepteurs..

Le récepteur doit être placé dans une position telle qu'il intercepte les radiations réfléchies qui existent devant et derrière le foyer du réflecteur, et il doit être de préférence accordé avec la longueur d'onde des oscillations transmises, par un procédé semblable à celui déjà décrit en employant une feuille d'étain convenablement découpée.

Je vais décrire maintenant les perfectionnements relatifs au transmetteur.

Mon premier perfectionnement consiste dans l'emploi de quatre sphères pour produire les oscillations électriques.

Cette partie de mon invention est représentée dans la figure 201 et la figure 211 par *d*, *d*, *e*, *e*. Les sphères *d*, *d* (fig. 201) sont reliées aux bornes c_1 du circuit secondaire de la bobine d'induction *c*. Les sphères *d*, *d* sont portées par les supports isolants d_1, d_1.

Les supports d_1 consistent, de préférence, en plaques d'ébonite ayant des creux pour recevoir les boules qui sont fixées en les chauffant suffisamment pour qu'elles fondent l'ébonite et en les maintenant en place jusqu'à ce qu'elles soient refroidies. *e*, *e* sont deux boules pareilles placées sur des supports e_1, $_1$ dont l'intervalle peut être varié grâce à des boulons en ébonite et des écrous e_2, e_2 ainsi que des contre-écrous e_3. e_4 est une membrane flexible, de préférence en papier parchemin, collée sur les supports e_1 et formant un vase qu'on remplit d'un diélectrique liquide, de préférence de l'huile de vaseline légèrement épaissie avec de la vaseline.

L'huile ou le liquide isolant placé entre les sphères *e*, *e* augmente la puissance des radiations et permet aussi d'obtenir des effets constants qui ne sont pas si facilement obtenus sans l'emploi d'huile.

Les boules *d* et *e* sont de préférence en cuivre ou en laiton massif et la distance qui les sépare dépend de la quantité et de la force électromotrice de l'électricité employée, l'effet croissant avec la distance (surtout en augmentant l'intervalle entre les sphères *d* et les sphères *e*) tant que la décharge passe franchement. Avec une bobine d'induction donnant une étincelle ordinaire de 8 pouces (20 cm) la distance entre *e* et *e* doit être de 1/25 à 1/30 de pouce (0,8 à 1 mm) et la distance entre *d* et *e* d'environ un pouce (2,54 cm).

Quand on désire que le signal soit envoyé seulement dans une direction, je place l'oscillateur au foyer ou sur la ligne focale d'un réflecteur dirigé vers la station de réception.

f (fig. 201) et *f* (fig. 202) représentent le cylindre parabolique réflecteur fait en recourbant une lame métallique de préférence en cuivre ou en laiton sur une forme *f* constituée par des côtes en bois ou en métal auxquelles la lame est fixée (fig. 201).

Toutes choses égales d'ailleurs plus les boules sont grosses plus grande est la distance à laquelle il est possible de communiquer. J'ai généralement employé des boules de laiton plein de 4 pouces de diamètre (10,16 cm) donnant des oscillations de 10 pouces de longueur d'onde (25,4 cm).

Au lieu de sphères, des cylindres, des ellipsoïdes, etc., peuvent être employés.

Le réflecteur qui convient de préférence au transmetteur doit avoir en longueur et d'ouverture le double à peu près de la longueur d'onde émise par l'oscillateur.

Si ces conditions sont satisfaites et avec un récepteur convenable, un transmetteur constitué avec des sphères de quatre pouces de diamètre reliées à une bobine d'induction donnant 10 pouces d'étincelle permet de transmettre des signaux à deux milles et plus (3 218 m).

Si on emploie une très puissante source d'électricité

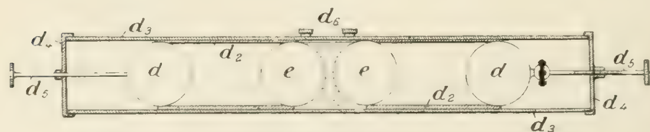


Fig. 211. — Oscillateur Marconi à quatre sphères.

donnant une très longue étincelle il est préférable de diviser l'étincelle qui éclate entre les boules centrales de l'oscillateur en plusieurs étincelles en série plus petites.

Ce qui peut être obtenu en introduisant entre les grosses boules plusieurs petites boules (d'environ un demi-pouce, 1,25 cm de diamètre) fixées à des lames d'ébonite.

La figure 211 montre une forme plus ramassée de producteur d'ondes. Chaque paire de boules *d* et *e* est fixée par la chaleur ou autrement aux extrémités des tubes d_2 en substance isolante, ébonite ou vulcanite. Les tubes d_2 glissent à frottement dans un autre tube semblable d_3 muni de bouchons d_4 à travers lesquels passent les tiges d_5 reliant les boules *d* aux conducteurs. Une des deux tiges d_5 est reliée à la sphère *d* par une boule, elle est filetée de manière à pouvoir tourner dans un pas de vis ménagé au centre du couvercle d_4. Par une rotation de la tige on peut ajuster la distance des boules *e*. d_6 sont deux trous percés dans le tube d_3 par lesquels on introduit l'huile de vaseline dans l'intervalle compris entre les boules *e*.

Un nouveau perfectionnement consiste à faire tourner rapidement un des contacts de l'interrupteur accolé à la bobine d'induction.

Ce perfectionnement a pour but de maintenir le contact de platine de l'interrupteur en bon état et de prévenir son détériorement par les étincelles, etc.

Cette partie de mon invention est dessinée figure 201 (c_2, c_3, c_4).

J'obtiens ce résultat à l'aide d'un mandrin central c_2 (fig. 201 et fig. 204) tournant dans l'écrou ordinaire c_3 qui est en communication avec les contacts de platine. Je fais tourner le dit mandrin central ainsi qu'un des contacts de platine attaché à lui par un petit moteur électrique c_4.

Ce moteur peut être entretenu par le même circuit qui contient le primaire de la bobine ou s'il est nécessaire par un circuit séparé ; les connexions ne sont pas dessinées dans la figure.

Par ce moyen la régularité et la puissance de la

décharge d'une bobine d'induction ordinaire à trembleur sont grandement augmentées.

La bobine d'induction *c* (fig. 201) peut toujours être remplacée par une autre source de haute tension électrique.

Quand on dispose d'une énergie suffisante il est souvent préférable de laisser la bobine du transformateur constamment en travail pendant tout le temps que dure la transmission, et au lieu d'interrompre le courant dans le primaire on interrompt la décharge du secondaire.

Dans ce cas les contacts de la clef doivent être immergés dans l'huile car, autrement, vu la longueur des étincelles, le courant continuerait à passer après que les contacts ont été séparés.

Un nouveau perfectionnement a pour but de faciliter la mise au foyer des rayons électriques.

Cette partie de mon invention est représentée figure 203. On y voit un producteur d'onde modifié placé au foyer d'un réflecteur parabolique ordinaire *f*.

L'oscillateur dans ce cas est différent de celui que j'ai précédemment décrit ; au lieu d'être constitué de deux sphères il est fait de deux hémisphères *e*, *e* séparés par un petit intervalle rempli d'huile ou d'un autre diélectrique. L'étincelle entre les hémisphères se produit dans le diélectrique entre de petites saillies disposées au centre des hémisphères. Le fonctionnement et l'ajustage de cet oscillateur sont les mêmes que pour celui précédemment décrit.

Ce dispositif peut être aussi solidement monté dans un tube d'ébonite comme dans la figure 211.

Un récepteur qui peut être employé avec ce transmetteur est vu dans la figure 210 et a aussi été décrit.

Il n'est pas essentiel d'avoir un réflecteur au transmetteur et au récepteur mais sans eux la distance à laquelle on peut communiquer est beaucoup plus petite.

La figure 212 montre une autre forme modifiée du transmetteur avec laquelle on peut transmettre des signaux

à des distances considérables sans user de réflecteurs.

Dans la figure 212 t, t sont deux poteaux reliés par une barre t_1 à laquelle sont suspendues par le moyen de cordons isolants deux plaques métalliques t_2, t_2 reliées aux

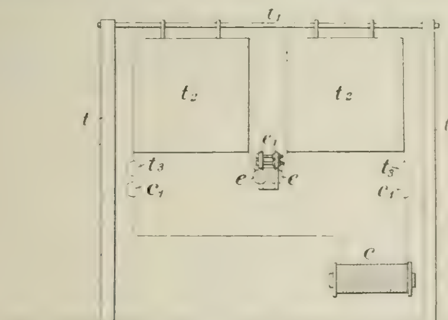


Fig. 212. — Transmetteur Marconi à plaques métalliques planes.

sphères e (dans l'huile ou dans un autre diélectrique comme précédemment) et à d'autres boules t_3 au voisinage desquelles se trouvent des sphères c_1 qui sont reliées avec la bobine ou le transformateur c. Les boules t_3 ne sont pas absolument nécessaires et les plaques t_2 peuvent être mises en communication avec la bobine ou le transformateur au moyen de minces fils isolés. Le récepteur que j'emploie avec ce transmetteur est semblable à lui avec cette différence que les sphères e sont remplacées par le tube sensible ou le contact imparfait j (fig. 206), alors que les sphères t_3 doivent être remplacées par les bobines étouffoirs k_1 en communication avec le circuit local. Si un récepteur à plaques circulaires de grande taille est employé, les plaques t_2 peuvent être supprimées au récepteur. J'ai observé que, toutes choses égales d'ailleurs, plus grandes sont les plaques du transmetteur et du récepteur, plus éloignées elles se trouvent du sol, plus elles sont séparées l'une de l'autre et plus augmente la distance à laquelle les communications sont possibles.

Dans les installations permanentes il convient de remplacer les plaques par des cylindres métalliques clos à une extrémité, placés sur le poteau comme un chapeau et reposant sur des isolateurs. Grâce à cet arrangement les isolateurs ne peuvent devenir humides et les effets qu'on peut obtenir sont meilleurs en temps humide.

Un cône ou un hémisphère peut être employé à la

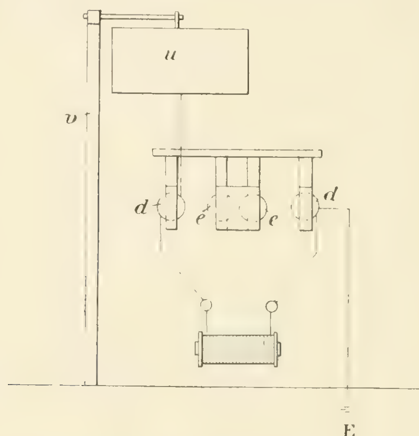


Fig. 213. — Transmetteur Marconi à une plaque et à relation au sol pour communication à grande distance.

place du cylindre. Le poteau employé doit, de préférence, être sec et goudronné.

Quand des obstacles tels que plusieurs maisons ou une colline ou une montagne sont compris entre le transmetteur et le récepteur j'ai inventé et adopté le dispositif représenté dans les figures 213 et 214.

Pour le transmetteur (fig. 213) je relie une des sphères *d* à la terre E de préférence par un gros fil et l'autre à la plaque ou conducteur *u* qui peut être suspendu à un poteau *v* et isolé du sol. Ou bien les sphères *d* peuvent être supprimées et l'une des sphères *e* est connectée au sol et l'autre à la plaque ou conducteur *u*.

Pour le récepteur (fig. 214) je relie un pôle du tube sensible ou du contact imparfait j au sol E de préférence aussi par un gros fil, et l'autre pôle à la plaque ou conducteur w, de préférence semblable à u. La plaque w peut être suspendue à un poteau x et doit être isolée du sol. Plus les plaques du récepteur et du transmetteur sont grandes et plus elles sont élevées au-dessus du sol,

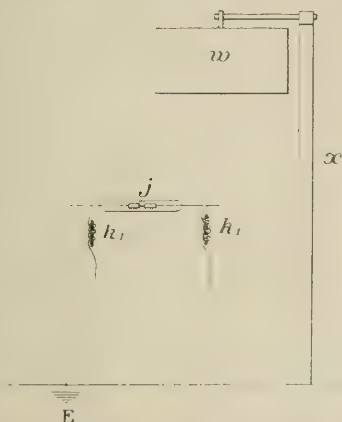


Fig. 214. — Récepteur Marconi à une plaque et à relation avec le sol pour communication à grande distance.

plus grande est la distance à laquelle il est possible de communiquer, toutes autres choses égales d'ailleurs.

La figure ne montre pas le trembleur ou le dispositif provoquant le choc. k_1, k_1 sont les bobines étouffoirs qui sont reliées au circuit de la batterie comme il a été expliqué avec références aux figures précédentes.

Dans les installations permanentes il convient de remplacer les plaques par des cylindres métalliques clos à une extrémité, placés sur le poteau comme un chapeau et reposant sur des isolateurs.

Un cône ou un hémisphère peut aussi être employé à la place du cylindre. Le poteau employé doit être, de préférence, sec et goudronné.

Au récepteur il est possible de recueillir les oscillations de la terre ou de l'eau sans avoir la plaque *w*. Cela peut être fait en reliant les pôles du tube sensible *j* à deux plaques de terre, de préférence à une certaine distance l'une de l'autre et telles que la ligne qui les joint soit dans la direction d'où viennent les oscillations. Ce circuit doit ne pas être entièrement conducteur, il doit contenir un condensateur de capacité convenable, d'un mètre carré de surface environ (papier paraffiné comme diélectrique).

Des ballons peuvent être aussi employés, au lieu de plaques suspendues à des poteaux, pourvu qu'ils soutiennent une plaque ou qu'ils soient constitués par une matière conductrice par exemple recouverts de feuilles d'étain. Comme la hauteur à laquelle les ballons peuvent être placés est grande, la distance à laquelle la communication est possible se trouve de beaucoup augmentée. Des cerfs-volants peuvent aussi être employés avec succès s'ils sont rendus conducteurs au moyen de feuilles d'étain.

Quand l'un ou l'autre des appareils décrits travaille il est nécessaire que le récepteur et le transmetteur à chaque station soient à une distance considérable l'un de l'autre ou qu'ils se trouvent abrités l'un de l'autre par des plaques métalliques. Il suffit de placer tout le dispositif télégraphique dans une boite de métal (excepté le récepteur Morse). Les portions de fil du circuit du récepteur doivent être enfermées dans des tubes métalliques qui sont en communication électrique avec la boite. La portion de l'appareil qui reçoit la radiation de la station située à distance ne peut être renfermée dans une enveloppe métallique, mais elle peut être mise à l'abri de l'influence du transmetteur local au moyen d'écrans métalliques.

Quand l'appareil est relié à la terre ou à l'eau le récepteur peut être enlevé du circuit quand le transmetteur

local travaille. Cela peut aussi être fait quand l'appareil n'est pas mis à la terre.

Ayant maintenant décrit et précisé la nature de mon invention et de quelle manière elle doit être appliquée, je déclare revendiquer ce qui suit :

Revendications. — 1. La méthode de transmission des signaux au moyen d'impulsions électriques à un récepteur ayant un tube sensible ou autre forme sensible de contact imparfait capable de reprendre avec certitude et régularité sa condition normale comme cela a été substantiellement décrit.

2. Un récepteur consistant en un contact imparfait sensible, ou en plusieurs contacts, un circuit à travers le contact ou les contacts, et les moyens de rendre le contact ou les contacts, avec certitude et régularité, à sa, ou à leur condition normale après la réception d'une impulsion comme cela a été substantiellement décrit.

3. Un récepteur consistant en un contact imparfait sensible, ou en des contacts, un circuit à travers le contact. ou les contacts, et le moyen produit par le circuit de rendre avec certitude et régularité, le contact, ou les contacts, à sa ou à leur condition normale après la réception d'une impulsion.

4. Dans le récepteur comme il est mentionné aux revendications 2 et 3, l'usage de résistances possédant une faible self-induction, ou d'autres dispositifs pour prévenir la formation d'étincelles aux contacts ou d'autres effets perturbateurs.

5. La combinaison avec les récepteurs comme il a été mentionné aux revendications 2 et 3 de résistances et autres dispositifs pour prévenir la self-induction du récepteur d'affecter le contact sensible, ou les contacts, comme cela a été substantiellement décrit.

6. La combinaison avec les récepteurs, comme il a été

rapporté ci-dessus, de bobines étouffoirs, comme cela a été substantiellement décrit.

7. Dans les récepteurs consistant en un contact imparfait, ou contacts sensibles aux impulsions électriques, l'usage de dispositifs automatiques dans le but de rendre le contact, ou les contacts, avec certitude et régularité, à sa ou à leur condition normale après la réception d'une impulsion, comme cela a été substantiellement décrit.

8. La construction d'un non-conducteur sensible capable de devenir un conducteur par les impulsions électriques, constitué de deux tampons de métal ou de leur équivalent et comprenant entre eux quelque substance comme cela a été décrit.

9. Un tube sensible contenant un mélange de deux ou plusieurs poudres, grains ou limailles, comme cela a été substantiellement décrit.

10. L'usage du mercure dans le contact électrique imparfait sensible comme cela a été substantiellement décrit

11. Un récepteur ayant un circuit local comprenant un contact électrique imparfait sensible, ou des contacts, et un relais agissant sur un appareil pour produire des signaux, actions ou manifestations, comme cela a été substantiellement décrit.

12. Des contacts sensibles dans lesquels une colonne de poudre ou de limaille (ou leur équivalent) est divisée en sections au moyen de tampons ou arrêts métalliques, comme cela a été substantiellement décrit.

13. Les récepteurs comme ils ont été substantiellement décrits et figurés dans les figures 206 et 210.

14. Les transmetteurs comme ils ont été substantiellement décrits et figurés dans les figures 211 et 203.

15. Un récepteur consistant en un tube sensible ou autre contact imparfait inséré dans un circuit, une extrémité du tube sensible ou autre contact imparfait

étant mis à la terre alors que l'autre extrémité est reliée à un conducteur isolé.

16. La combinaison d'un transmetteur ayant une extrémité de ses accessoires à étincelles ou poteaux reliée à la terre, et l'autre à un conducteur isolé, avec un récepteur tel qu'il a été mentionné dans la revendication 15.

17. Un récepteur consistant en un tube sensible ou autre contact imparfait inséré dans un circuit, et des connexions à la terre à chaque extrémité du contact sensible ou du tube à travers des condensateurs ou leur équivalent.

18. Les modifications aux transmetteurs et récepteurs dans lesquelles les plaques suspendues sont remplacées par des cylindres ou autres conducteurs placés sur les poteaux comme des chapeaux, ou par des ballons ou cerfs-volants comme cela a été substantiellement décrit.

19. Une bobine d'induction ayant un interrupteur tournant comme cela a été substantiellement décrit et dans le but exposé.

2 mars 1897.

Perfectionnements aux appareils employés en télégraphie sans fil, par G. Marconi et The Wireless Telegraph and Signal C° Ld. Brevet anglais n° 29306 du 10 décembre 1897, accepté le 15 octobre 1898. — Les perfectionnements ont pour but de soustraire le récepteur d'une manière complète à l'action des ondes émises par le dispositif transmetteur voisin. Le récepteur et le transmetteur ne sont réunis à l'antenne, et par suite susceptibles de recevoir ou d'émettre des ondes que pendant le temps où chacun d'eux fonctionne.

L'appareil imaginé à cet effet est une sorte de commutateur dont la figure 215 donne une coupe horizontale et la figure 216 une coupe verticale. Une tige isolante g, mobile autour d'un pivot g_1 supporté par une colonne

isolante g_2, peut recevoir un mouvement de rotation de 180° à l'aide du manche isolant h, en se déplaçant dans un plan horizontal. Cette tige porte à ses extrémités deux

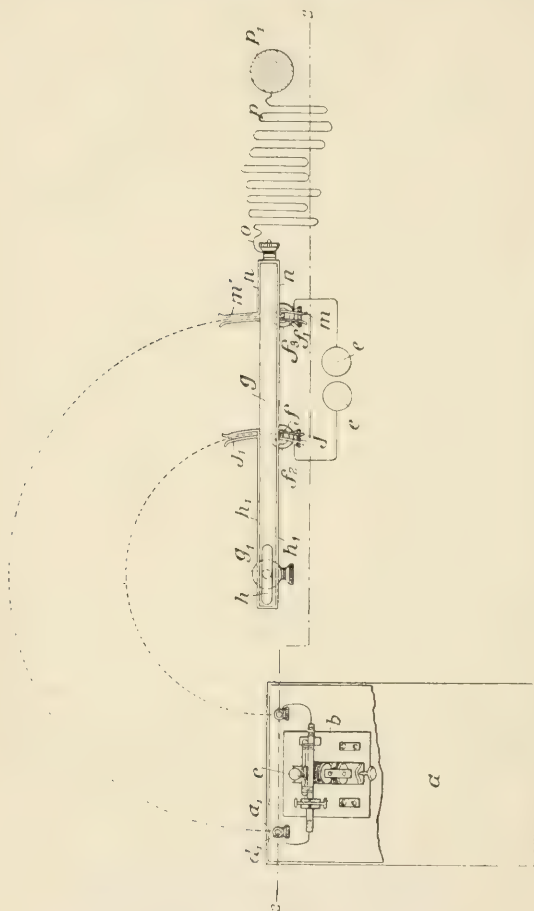


Fig. 215. — Coupe horizontale du commutateur Marconi.

revêtements métalliques conducteurs h_1 et n. Le conducteur h_1 est relié par le pivot g' et le fil l à la terre. Le conducteur n est relié à un fil souple o qui est en communication avec l'antenne p soutenue par le poteau p_1.

Indépendamment de ces connexions les deux conducteurs h_1 et n portent chacun deux appendices conducteurs, j et j_1 pour le conducteur h_1, m et m' pour le conducteur n. Dans la position représentée par la figure les appendices j et m sont respectivement en contact avec les bagues f et f_1 que supportent les colonnes isolantes f_2

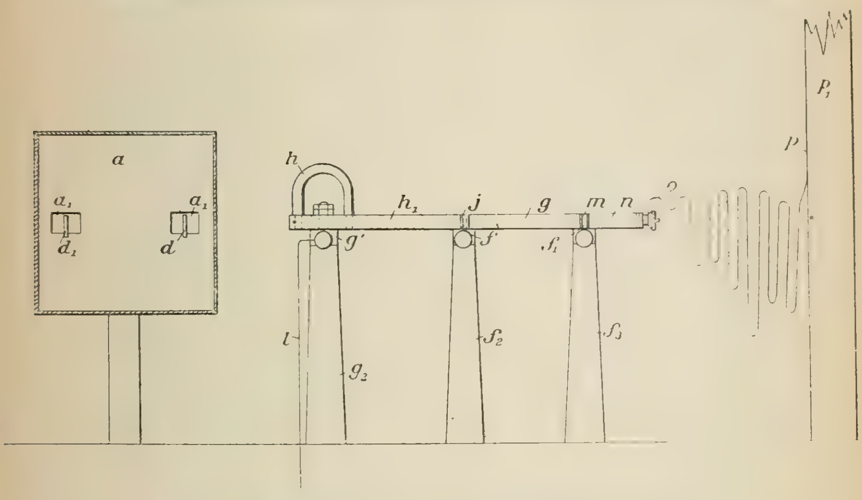


Fig. 216. — Coupe verticale du commutateur Marconi.

et f_3. Les deux sphères e, e de l'oscillateur se trouvent ainsi reliées l'une à la terre, l'autre à l'antenne et la manœuvre de la clef Morse qui commande le fonctionnement de la bobine d'induction (dispositifs non représentés sur la figure) permet de faire fonctionner le transmetteur.

Quant au récepteur b il est renfermé dans une boîte métallique a. On a pratiqué dans la paroi de cette boîte deux petites ouvertures a_1, a_1, au voisinage et au centre desquels se trouvent les extrémités des conducteurs qui viennent des deux pôles du tube à limaille. Ces fils sont représentés en d et d_1. Dans la position représentée par

la figure, la boîte a et le dispositif récepteur qu'elle contient se trouve isolée. Pour la réception on fait tourner de 180° la tige, par la manœuvre du manche isolant h et les pinces j_1 et m', qui forment appendices, viennent en regard des ouvertures a_1 et a_1, pénètrent dans la boîte contenant le récepteur en contact avec les fils d et d_1. Le tube à limaille se trouve alors réuni par un de ses pôles d, à la terre et par l'autre pôle d_1, à l'antenne par l'intermédiaire du fil souple o. Le récepteur est alors susceptible de recevoir les ondes destinées au poste. Quant au transmetteur il se trouve hors circuit par la manœuvre même du commutateur.

La figure 217 représente le même dispositif de commu-

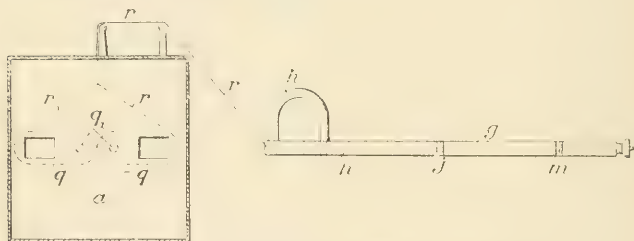


Fig. 217. — Commutateur Marconi à volets.

tateur avec en plus un léger perfectionnement. Deux volets q, q, mobiles autour de pivots q_1, q_1 ferment les ouvertures (a_1, a_1, fig. 216) pendant la transmission. Lorsqu'on veut recevoir, la manœuvre du levier g actionne un système de cordons r, r, r qui ouvrent les volets q, q.

Perfectionnements aux appareils employés en télégraphie sans fil, par G. Marconi et The Wireless Telegraph and signal C° Ld. Brevet anglais n° 12 325 du 1er juin 1898, accepté le 27 mai 1899. — Les perfectionnements décrits ont encore pour but de soustraire le récepteur aux perturbations qui peuvent se produire dans son voisinage.

La figure 218 représente le récepteur et le transmetteur et les relations entre eux d'après ce perfectionnement. *a* est une batterie et *b* une clef de Morse ordinaire commandant le circuit primaire de la bobine d'induction *c*. Les pôles du circuit secondaire de la bobine sont reliés aux deux boules métalliques *e*. — Le dispositif récepteur

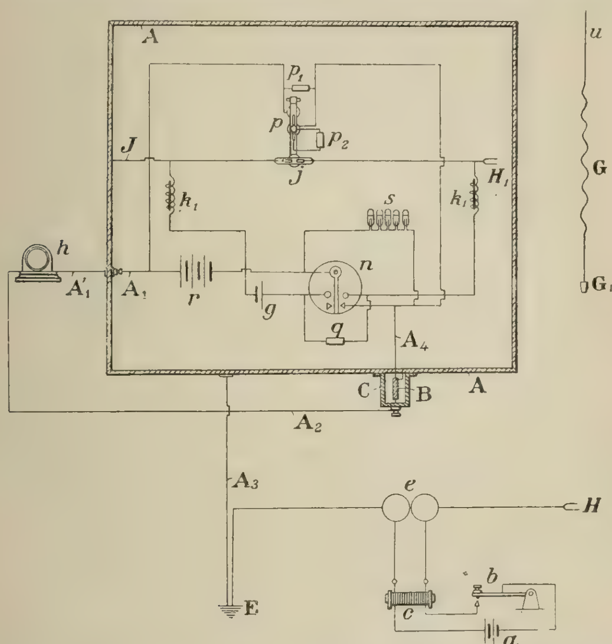


Fig. 218. — Relations entre le transmetteur et le récepteur Marconi.

comprend : 1° le tube à limaille *j* avec son frappeur *p* munie des bobines à grandes résistances p_1, p_2 ; le relais *n* dont les bobines sont reliées aux pôles du tube *j* par l'intermédiaire d'un élément de pile *g* et de deux bobines étouffoirs k_1, k_1 ; une bobine de grande résistance *q* placée en dérivation sur les bornes du relais *n* ; une batterie de piles *r*, reliée à la palette du relais *n* dont une dérivation entretient le trembleur *p* ; une grande résistance *s*

placée en dérivation aux bornes du contact du relais. Tous ces circuits et appareils sont enfermés à l'intérieur d'une boîte métallique close A.

Les connexions avec la boîte A sont les suivantes : A l'intérieur l'un des pôles du tube à limaille *j* est relié à la boîte par le fil J. L'un des pôles de la batterie *r*, dont l'autre pôle communique avec la palette du relais *n*, est mis en relation avec la boîte par le fil A_1 qui traverse la boîte en la touchant et se continue extérieurement par le fil A'_1 relié au récepteur télégraphique *h*. L'autre borne de ce récepteur communique par le fil A_2, la bobine B, le fil A_4, au contact fixe du relais *n*. Le fil A_4 traverse la boîte sans contact ; il en est isolé. Il est relié à l'une des extrémités du fil d'une bobine B, dont l'autre extrémité communique avec le fil A_2. Cette bobine est construite d'une manière particulière.

Le fil de la bobine B (fig. 219) qui a 1/75 de pouce de diamètre (0,34 mm) est isolé par un revêtement D de gutta-percha. Ce revêtement est entouré par une bande métallique F enroulée autour et qu'il est commode de constituer par une feuille d'étain.

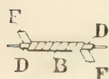


Fig. 219. — Système Marconi. Bobine à revêtement métallique.

La bobine B contient environ 20 m de fil et comprend 120 spires. Elle est extérieure à la boîte A et protégée contre les accidents par une cloche métallique C qui n'est pas indispensable. Le revêtement externe en étain de la bobine B est relié à la boîte A.

L'antenne *u* (fig. 218) est reliée par un fil flexible G à un plot G_1 qui se place dans la pince H_1, en relation avec l'un des pôle du tube *j*, pour la réception, et dans la pince H, en relation avec l'une des sphères de l'oscillateur, pour la transmission.

Perfectionnements aux appareils employés en télégraphie sans fil, par G. Marconi et The Wireless and

Telegraph Signal C° Ld. Brevet anglais n° 12 326 du 1er juin 1898, accepté le 1er juillet 1899. — Les perfectionnements relatés dans ce brevet ont trait aux relations de l'antenne avec le tube à limaille.

Au lieu de relier le fil qui vient de l'antenne *a* (fig. 220) à l'une des bornes du cohéreur, l'autre borne étant mise à la terre, le circuit qui comprend le cohéreur est complètement isolé du circuit qui comprend l'antenne. — L'antenne *a* est reliée à l'une des extrémités du primaire *c*

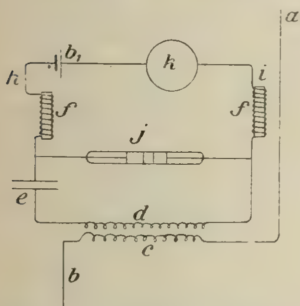


Fig. 220. — Système Marconi. Perfectionnement aux relations de l'antenne avec le cohéreur. Premier dispositif.

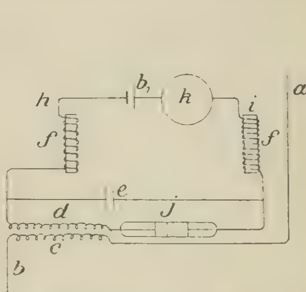


Fig. 221. — Système Marconi. Perfectionnement aux relations de l'antenne avec le cohéreur. Second dispositif.

d'un transformateur, l'autre extrémité du primaire est mise en communication avec la terre par le fil *b*. Le secondaire *d* de ce transformateur est compris dans le circuit du cohéreur *j*. Ce circuit *h* comprend, le cohéreur *j*, le secondaire *d* du transformateur, une bobine étouffoir *f*, un élément de pile b_1, un relais *k* et une seconde bobine étouffoir *f*. Placé en dérivation sur ce circuit se trouve un condensateur *e* qui est relié d'une part à l'extrémité du secondaire *d* du transformateur, d'autre part à l'un des pôles du cohéreur *j*.

La figure 221 indique un dispositif analogue dans lequel les connexions sont un peu différentes. Le primaire *c* du transformateur est encore relié d'une part à l'antenne *a*.

d'autre part à la terre *b*. Mais le cohéreur *j* et le condensateur *e* ont permuté leurs positions par rapport au circuit comprenant le relais *k* et le primaire *d* du transformateur. L'une des armatures du condensateur employé est formée de trois feuilles rectangulaires de cuivre de 3,75 cm de longueur sur 2,5 cm de largeur. L'autre armature comprend deux feuilles de mêmes dimensions. Les armatures sont séparées par du papier paraffiné de 0,015 cm d'épaisseur.

L'antenne utilisée avec ces dispositifs est formée d'un fil de cuivre de 1 mm de diamètre, de 140 pieds (42,67 m) de long et dont l'extrémité est à 100 pieds (30,48 m) du sol. Ce fil de cuivre pouvait être remplacé par un treillis de fil de fer galvanisé formant une bande de 2 pieds (60 cm) de largeur, 130 pieds (39,62 m) de longueur et dont l'extrémité était à 110 pieds (33,52 m) du sol.

Les figures 222 à 229 sont une représentation schématique des enroulements différents du primaire P et du secondaire S des transformateurs utilisés. Dans le dessin le fil secondaire est représenté par un trait plus fin que celui qui représente le fil primaire ; en réalité ces deux enroulements sont formés de fil de même diamètre. Le secondaire est formé de un ou de plusieurs enroulements connectés entre eux comme l'indiquent les schémas des figures 222 à 229. Le nombre des spires de chaque enroulement diminue à mesure qu'on s'éloigne du noyau du transformateur. A représente l'extrémité de l'enroulement primaire mis en relation avec l'antenne, E, l'extrémité reliée au sol. J est l'extrémité de l'enroulement secondaire réuni à l'un des pôles du cohéreur, C, la seconde extrémité de l'enroulement secondaire qui est reliée au condensateur. G est un tube de verre qui supporte les enroulements.

Les détails relatifs à ces enroulements sont donnés dans le tableau suivant :

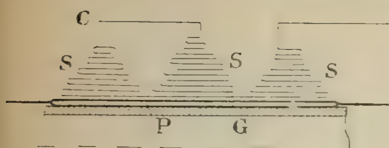


Fig. 222. — Transformateur Marconi. Premier dispositif d'enroulement.

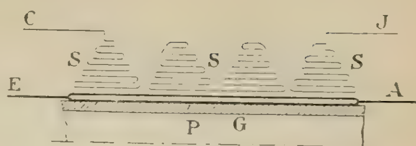


Fig. 223. — Transformateur Marconi. Deuxième dispositif d'enroulement.

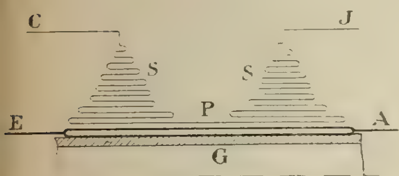


Fig. 224. — Transformateur Marconi. Troisième dispositif d'enroulement.

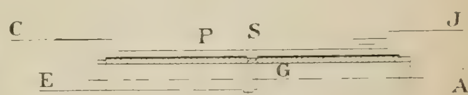


Fig. 225. — Transformateur Marconi. Quatrième dispositif d'enroulement.

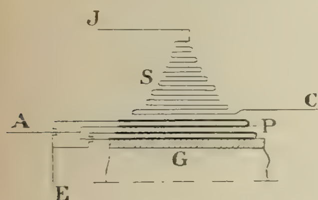


Fig. 226. — Transformateur Marconi. Cinquième dispositif d'enroulement.

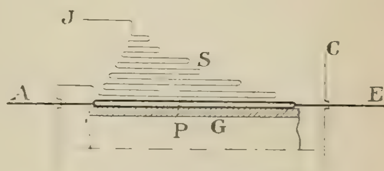


Fig. 227. — Transformateur Marconi. Sixième dispositif d'enroulement.

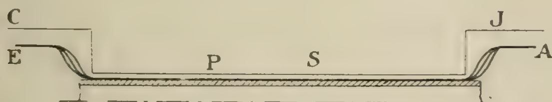


Fig. 228. — Transformataur Marconi. Septième dispositif d'enroulement.

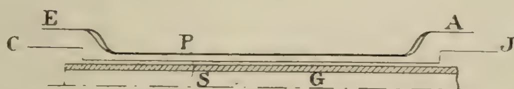


Fig. 229. — Transformateur Marconi. Huitième dispositif d'enroulement.

FIGURES	DIAMÈTRE du tube G	DIAMÈTRE DES FILS Primaire.	DIAMÈTRE DES FILS Secondaire.	RÉSISTANCES Primaire	RÉSISTANCES Secondaire.	NOMBRE DE SPIRES DES ENROULEMENTS Primaire.	NOMBRE DE SPIRES DES ENROULEMENTS Secondaire				LONGUEUR du transformateur.
							3 sections de				
	cm	cm	cm				10 couches	12 couches	10 couches		cm
							Spires.	Spires.	Spires.		
222	0,935	0,01	0,01	»	»	2 couches en parallèles de 160 spires.	150	150	150		2,5
							45	40	45		
							40	39	40		
							35	37	35		
							30	35	30		
							25	33	25		
							20	29	20		
							15	25	15		
							12	21	12		
							5	15	5		
								10			
								5			
							4 sections de 9 couches chacune.				
							Spires.	Spires.	Spires.	Spires	
223	0,937	0,012	0,012	»	»	2 couches en parallèles de 160 spires.	40	80	80	40	4
							35	35	35	35	
							30	30	30	30	
							27	27	27	27	
							23	23	23	23	
							20	20	20	20	
							15	15	15	15	
							10	10	10	10	
							5	5	5	5	

224	0,937	0,011	0,011	»	»	2 couches en parallèles de 160 spires.	2 sections de 15 couches chacune, variant de 153 à 2 spires.	2,5
225	0,975	0,012	0,012	»	»	2 couches en parallèles de 110 spires.	12 couches variant de 100 à 5 spires.	1,8
226	0,975	0,012	0,012	»	»	4 couches de 80 spires et 78 spires en série ; 76 et 72 spires en série.	16 couches variant de 60 à 7 spires.	1,5
227	0,975	0,012	0,012	(1) 5,75	(1) 28,5	1 couche de 2 fils en parallèle de 160 spires chaque.	3 couches de 310 — 45 — 45 spires.	5,8
228	0,975	0,012	0,012	3,20	30 »	1 couche de 3 fils en parallèle de 160 spires chaque.	1 couche de 500 spires.	7,8
228	0,935	0,012	0,012	2,80	23 »	1 couche de 3 fils en parallèle de 140 spires chaque.	1 couche de 420 spires.	8,1
229	0,930	0,012	0,012	4,90	22 »	1 couche de 2 fils en parallèle de 160 spires chaque.	1 couche de 400 spires.	7,8
229	0,730	0,012	0,005	3,75	100 »	1 couche de 2 fils en parallèle de 170 spires chaque.	1 couche de 680 spires.	7,5

Perfectionnements aux appareils employés en télégraphie sans fil, par G. Marconi et The Wireless and Telegraph Signal Cº Ld. Brevet anglais nº 6 982 du 1er avril 1899, accepté le 3 mars 1900. — Ce brevet est la répétition textuelle d'une partie du précédent, en particulier de celle relatant les dimensions à donner aux diverses formes d'enroulements.

Perfectionnements aux appareils employés en télégraphie sans fil, par G. Marconi et The Wireless and Telegraph Signal Cº Ld. Brevet anglais nº 25 186 du 19 décembre 1899, accepté le 19 décembre 1900. — Les perfectionnements décrits constituent une variante de ceux dont les deux brevets précédents sont l'objet.

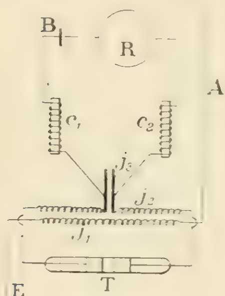


Fig. 230. — Système Marconi. Relations de l'antenne et du cohéreur. Variante des dispositifs précédents.

La figure 230 représente les connexions. L'antenne A est reliée à l'une des extrémités de l'enroulement primaire j_1 d'un transformateur, l'autre extrémité est reliée à la terre E. Le cohéreur T a ses pôles respectivement reliés aux deux extrémités de l'enroulement secondaire j_2 du transformateur. Cet enroulement secondaire est partagé en deux parties, en deux enroulements partiels dont les extrémités libres sont reliées aux deux armatures d'un condensateur j_3. Ces armatures sont reliées d'autre part par l'intermédiaire de bobines étouffoirs c_1, c_2, à l'élément de pile B et au relais R.

Les figures 231 et 232 représentent des schémas des enroulements du transformateur utilisé avec le dispositif ci-dessus.

Le tube de verre j (fig. 231) sur lequel sont enroulés les

fils à 6 cm de diamètre. Le primaire comprend 100 spires de fil de cuivre isolé à la soie de 0,037 cm de diamètre, recouvertes d'une couche de paraffine. Le secondaire j_2 est formé d'un fil de cuivre de 0,019 cm de diamètre

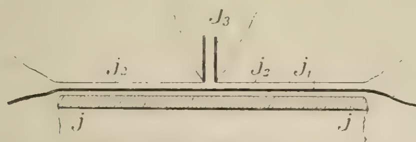


Fig. 231. — Transformateur Marconi. Enroulement secondaire formé de deux portions séparées. Premier dispositif.

dont l'enroulement commence au milieu du tube, dans le même sens que l'enroulement primaire. Chaque moitié du secondaire comprend 17 couches dont les nombres de spires sont : 77-49-46-43-40-37-34-31-28-25-22-19-16-13-10-7 et 3.

Le transformateur représenté par le schéma de la figure 232 est formé d'un tube de verre j de 2,5 cm de

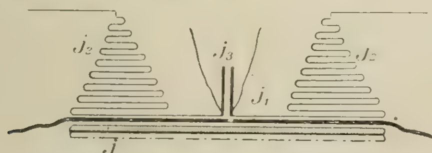


Fig. 232. — Transformateur Marconi. Enroulement secondaire formé de deux portions séparées. Second dispositif.

diamètre comme noyau, sur lequel le primaire est enroulé en 50 tours d'un fil de cuivre de 0,07 cm de diamètre. Le secondaire est formé d'un fil de 0,005 de diamètre, qui est enroulé dans le même sens que le primaire. Chaque moitié de l'enroulement comprend 160 spires formant une seule couche. L'emploi de ces transformateurs donne les meilleurs résultats quand la longueur du conducteur aérien à chaque station atteint 150 pieds (45,72 m).

Perfectionnements aux appareils employés en télégraphie sans fil, par G. Marconi. Brevet anglais n° 5657, du 15 mars 1899. Accepté le 17 février 1900. — Dans le brevet n° 12039 de 1896 (voir p. 294) est décrit un arrangement d'après lequel le transmetteur consiste en un excitateur dont une des boules est en communication avec l'antenne et dont l'autre boule est mise à la terre. Le récepteur contient un cohéreur dont une extrémité communique avec l'antenne et l'autre avec la terre.

On sait que le conducteur aérien peut être parfois chargé d'électricité d'origine atmosphérique et, lorsqu'on emploie le même conducteur pour la réception et pour la transmission, les décharges atmosphériques peuvent se produire à travers le corps de l'opérateur quand il met le conducteur aérien du transmetteur sur le récepteur.

L'objet de l'invention actuelle est de prévenir cet inconvénient.

L'antenne est reliée d'une manière permanente à une des boules de l'excitateur *e* (fig. 233). Par suite, si on emploie pour produire les ondes une bobine de Ruhmkorff ou un transformateur, le conducteur aérien se trouve relié à la terre à travers la bobine. Les ondes électriques venant du transmetteur de la station voisine ne peuvent traverser les spires de la bobine et vont à la terre à travers le récepteur lorsque le fil aérien est connecté avec elle. On sait aussi qu'il est avantageux d'intercaler une bobine d'impédance *d* entre les extrémités de la bobine d'induction employée pour l'émission et la sphère qui est connectée avec l'antenne.

Les signaux sont envoyés au moyen d'une clef de Morse fermant le courant d'une batterie locale à travers le primaire d'une bobine d'induction ou d'un transformateur.

Dans le dispositif actuel le levier formant la clef est

prolongé et porte une terminaison isolée qui est en communication constante avec la sphère de l'excitateur et par suite avec l'antenne. Cette terminaison repose sur une pièce métallique en communication avec le récepteur. De cette manière, lorsque le manipulateur revient à sa posi-

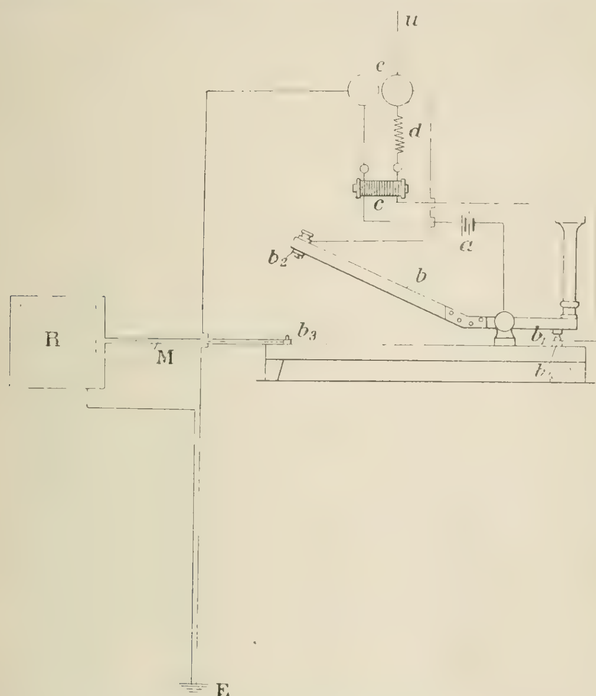


Fig. 233. — Système Marconi.
Dispositif de protection contre les décharges atmosphériques.

tion de repos, il met en communication l'antenne et le récepteur. Le fil reliant le récepteur à la clef Morse doit être de préférence enfermé dans un tube de métal, de manière à être protégé contre les effets du transmetteur local.

Cette disposition est applicable si on remplace la terre par une capacité aérienne. Elle l'est aussi pour les récep-

teurs contenant une bobine d'induction, pour celui décrit dans le brevet n° 12 326, de 1898. Le moyen employé pour protéger le récepteur est préférable à celui décrit dans le brevet n° 12 325.

Ci-joint un dessin (fig. 233) représentant un récepteur et un manipulateur arrangé suivant la description ci-dessus.

a est une batterie, *b* une clef Morse ordinaire fermant le circuit à travers le primaire de la bobine *c*. Les extrémités du secondaire sont reliées aux deux sphères de l'excitateur *e*.

L'antenne *u* est reliée à l'une des sphères *e*, l'autre sphère est reliée à la terre.

La clef *b* a deux contacts b_1, b_2 isolés l'un de l'autre.

La figure montre la clef dans la position voulue pour envoyer des ondes. b_1 en touchant b_3 ferme le circuit de *a* à travers le primaire de *c*. Lorsque la clef est abandonnée à son propre poids, son long bras en tombant réunit b_2 et b_3 qui est relié au récepteur par le fil M.

L'espace existant entre b_2 et b_3 doit être large pour prévenir la production d'étincelles entre ces deux contacts.

Il est avantageux d'intercaler une bobine d'impédance *d* entre la sphère *e* et la bobine *c*.

Système syntone de télégraphie sans fil, par Olivier-Joseph Lodge et A Muirhead. Brevet anglais n° 18 644, du 12 août 1897, accepté le 16 juillet 1898. — La traduction (1) de la spécification complète du brevet est la suivante :

---

(1) Nous renvoyons le lecteur à l'intéressant article de M. Blondin (*Éclairage Électrique*, t. XVIII, n° 3, 21 janvier 1899) sur le système syntone de MM. Lodge et Muirhead. — Nous remercions M. Blondin d'avoir bien voulu nous communiquer la traduction de ces deux brevets que nous reproduisons dans son entier.

« 1. Notre invention est relative aux systèmes de télégraphie par les ondes hertziennes. Elle a pour objet : d'obtenir une plus grande sûreté de fonctionnement des appareils transmetteur et récepteur tout en permettant d'augmenter la distance de ces appareils ; de réaliser, par rapport aux systèmes de télégraphie actuellement en usage, une économie de temps dans la transmission des signaux ; enfin, en général, de réaliser les divers perfectionnements indiqués dans la suite.

» 2. Dans la disposition que nous adoptons, le circuit récepteur comprend connectés en série : un appareil récepteur ou inscripteur *a*, une pile *b* et un cohéreur *c*. Le cohéreur est un des modèles décrits plus loin ou de tout autre modèle convenable. L'appareil récepteur est un siphon recorder de lord Kelvin, un téléphone ou tout autre instrument capable de déceler de faibles variations d'intensité d'un courant.

» 3. Dans la plupart des diagrammes accompagnant cette description, le cohéreur est schématiquement représenté comme étant du type que l'on appelle maintenant cohéreur à « point de contact unique ». Il peut être de toute autre forme. Nous en employons deux ou plus (la figure 234 nous indique trois) connectés en série multiple. Un marteau vibrant ou une came tournante *d*, mû par un mouvement d'horlogerie de préférence, est placé par rapport au cohéreur de manière qu'il vienne, à chaque période ou révolution, successivement en contact avec chacun de ceux-ci ; le but de ce dernier dispositif est de faire en sorte que l'un au moins des cohéreurs se trouve dans de bonnes conditions de fonctionnement.

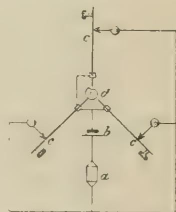


Fig. 234. — Cohéreurs reliés en série multiple avec système mécanique de décohésion.

» 4. On peut d'ailleurs construire le cohéreur de telle

façon que la décohésion ou rétablissement de la sensibilité de sa partie active après le passage des ondes hertziennes s'effectue instantanément après la cohésion sans l'aide de marteaux vibrants ou semblables dispositifs. La figure 235 montre cette forme de cohéreur. Des limailles *e*, formant une masse conductrice, sont répandues sur une languette flexible *f*, placée dans le champ magnétique produit par les pôles N et S d'un aimant permanent ou d'un électro-aimant. Quant la languette est en aluminium ou en tout autre métal convenable, on la recouvre partiellement d'une couche de vernis ou de matière isolante f_1 ; vers une extrémité cette couche isolante empêche le contact de la languette et des limailles, mais vers l'autre extrémité il y a contact, les limailles s'étendant plus loin que la couche isolante. Une seconde languette métallique *g*, pressée légèrement par les ressorts g_1, s'appuie sur les limailles. Quand, stimulée par les ondes hertziennes, la cohésion électrique ou un contact plus com-

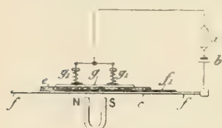


Fig. 235. — Cohéreur à limaille avec système électromagnétique de décohésion.

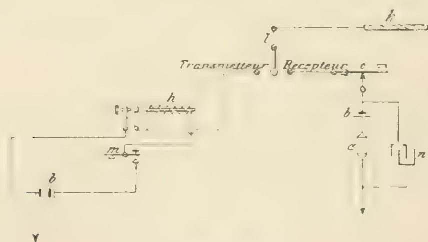


Fig. 236.
Disposition d'un poste comprenant un transmetteur et un récepteur.

plet se produit, un courant plus intense passe de la languette *f*, à travers la masse des limailles à la languette *g* et produit, par suite de l'action du champ magnétique, une plus grande flexion de la languette *f*. Il en résulte

une perturbation dans la position des limailles ; celles-ci se séparent et la cohésion qui existait auparavant entre elles se trouve rompue. Ce cohéreur peut être enfermé dans une enveloppe quelconque.

» 5. Comme transmetteur on peut employer soit, comme l'indique la figure 236, un dispositif donnant une étincelle d'extra-courant quand le courant d'une pile *b* est rompu ou quand le courant passant dans une bobine *h* à grande self-induction est arrêté ou modifié, soit tout autre dispositif donnant lieu à une perturbation électrique ou un courant discontinu ou transitoire capable d'exciter un cohéreur. Mais nous préférons nous servir d'une

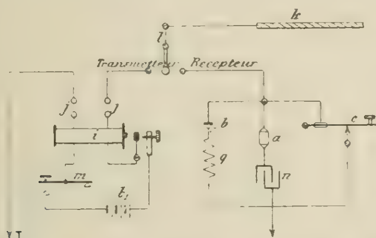


Fig. 237. — Autre disposition d'un poste complet.

bobine d'induction *i* (fig. 237) avec un ou plusieurs interrupteurs à étincelles *j*. L'effet de ces perturbations électriques peut être transmis au cohéreur soit à travers l'espace, soit le long des conducteurs quelconques, de fils nus *k*, de l'armature externe de câbles, etc., allant de la station d'envoi à la station réceptrice.

» 6. Comme exemple d'une installation télégraphique complète de notre système nous décrirons l'installation suivante : à chaque extrémité d'un fil métallique nu ou d'un conducteur *k* (fig. 236 et 237) réunissant les deux stations, sont disposés un ou plusieurs cohéreurs *c*, en relation avec une pile *b* et un récepteur *a* ; une des bornes du cohéreur est reliée au fil de ligne *k* ; au même point celui-ci est relié, au moyen d'un commutateur *l*, à une

bobine de self-induction h ou tout autre dispositif équivalent, à une clef Morse m et à une pile b_1 ; un des pôles de cette pile peut être mis en communication avec la terre, comme l'indique la figure 236, ou avec un conducteur de grande capacité tel qu'un toit de plomb.

» 7. Quelquefois nous insérons un condensateur n entre la terre et la borne du cohéreur opposé à celle qui est reliée au fil de ligne ; ce dispositif augmente l'effet des ondes électriques sur le cohéreur.

» 8. Quand nous employons des collecteurs ou résonateurs synchrones, nous relions le cohéreur à l'une des parties du collecteur comme l'indique la figure 238, dans

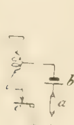


Fig. 238.
Poste récepteur avec un collecteur.

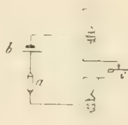


Fig. 239.
Poste récepteur avec deux collecteurs.

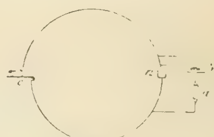


Fig. 240.
Poste récepteur avec collecteur circulaire.

le cas où il n'y a qu'un seul collecteur, ou nous le relions aux parties en regard des collecteurs comme le montre la figure 239, dans le cas où deux collecteurs égaux sont utilisés. Dans ces dispositifs les connexions de la pile et du récepteur avec le ou les résonateurs sont faites aux points milieux de ceux-ci, car autrement il y aurait perturbation de la période d'oscillation. Le cohéreur étant normalement un mauvais conducteur ne cause pas de perturbation.

» 9. La figure 240 montre un autre dispositif constitué par un grand circuit fermé semblable au dispositif de Hertz dans lequel de petites étincelles éclatent entre les boules du micromètre à étincelles : à la place de ce micromètre, on met le cohéreur c, et en une autre partie du circuit on dispose la pile b et le récepteur a ; mais

pour éviter toute perturbation de période on les installe en dérivation aux bornes d'un condensateur *n* de capacité suffisante pour agir comme un court-circuit pour les courants oscillatoires.

» 10. L'addition d'un condensateur en dérivation sur le circuit d'un cohéreur élimine la batterie et le récepteur de ce circuit tant qu'on ne considère que les oscillations électriques. Elle permet d'avoir pour le circuit du cohéreur une période bien définie malgré la présence dans ce circuit d'une pile et d'un récepteur ou de tout autre appareil. Ceci constitue un point essentiel et caractéristique du système.

» 11. Un dispositif qui convient parfaitement pour régler la sensibilité du circuit du cohéreur consiste à disposer le cohéreur dans l'une des branches d'un pont

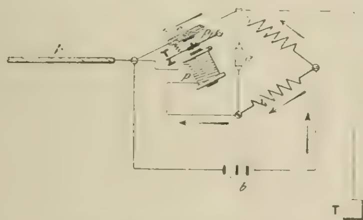


Fig. 241. — Poste récepteur avec pont de Wheatstone.

de Wheatstone (fig. 241), de manière à ce que le récepteur *a* fonctionne quand la résistance du cohéreur varie ; dans une autre branche on peut placer un électro-aimant *p* dont la force attractive diminue quand la résistance du cohéreur diminue et provoque ainsi le choc du marteau *p*, sur le cohéreur. L'électro-aimant est capable de maintenir le marteau dans sa position normale jusqu'à ce que le changement de résistance du cohéreur provoque le choc sans que ce marteau ait de tendance à trembler. La différence de potentiel entre les bornes du cohéreur peut, avec ce dispositif, être amenée à une fraction quelconque

de la force électromotrice de la pile. Le cohéreur représenté par la figure consiste en un tube rempli de poudres ou de limailles métalliques ou d'autres substances, mais toute autre forme de cohéreur peut être employée.

» 12. Comme le montre la figure 237 les appareils du poste récepteur peuvent être disposés suivant trois circuits parallèles : sur le premier sont la pile *b* et une résistance ajustable *q*, sur le second un condensateur *n* et le récepteur *a*, sur le troisième le cohéreur *c*. On peut substituer au condensateur une bobine d'induction PS (fig. 242) dont le circuit primaire P est en série avec la pile *b* et le cohéreur *c* tandis que le circuit secondaire S contient le récepteur *a*. Par ces dispositifs ce sont les variations de l'intensité du courant dans le circuit du cohéreur qui agissent sur le récepteur et non ce courant lui-même.



Fig. 242. — Poste récepteur avec bobine d'induction.

» 13. Des diverses dispositions décrites ci-dessus, celle que nous préférons actuellement est celle dans laquelle une étincelle éclate entre les extrémités en regard du système excité par une bobine de Ruhmkorff, un fil métallique ou la terre reliant l'une de ces extrémités à l'une des bornes du cohéreur, l'autre extrémité du système transmetteur et l'autre borne du cohéreur étant reliées à une paire de conducteurs élevés, dits « plaques de ciel », tels que, par exemple des toits isolés. La figure 243 montre schématiquement cette disposition ; *r* et r_1 sont les plaques de ciel pour la transmission et la réception, *j* l'interrupteur à étincelles, *c* le cohéreur : les lignes pointillées *ss* représentent les conducteurs allant à la bobine de Ruhmkorff, à la clef de transmission et à la pile ; $s_1 s_1$ sont les conducteurs allant au circuit du cohéreur ; *k* est un fil nu, un tuyau, etc. Au

lieu de deux plaques de ciel on peut employer deux plaques de terre ; au lieu d'un seul conducteur entre les

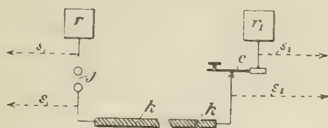


Fig. 243. — Poste transmetteur et poste récepteur.

deux stations on peut prendre deux fils et supprimer les plaques. Si le conducteur *k* est interrompu, les extrémités en regard des deux tronçons doivent être reliées à de larges plaques de terre.

» 14. Une station complète devra contenir en outre un commutateur pour faire d'une station transmettrice une station réceptrice ou inversement. La figure 244 indique la fonction du commutateur. Pour la transmission on relie 1 à 6 et 5 à 4, en même temps on met 2 et 3 en court-circuit pour protéger le cohéreur. Pour la réception on réunit 1 et 2, 3 et 4, et, si l'on veut, 5 et 6.

» 15. La plaque de ciel, au lieu de servir simplement

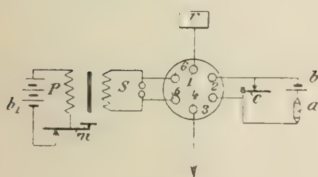


Fig. 244. — Commutateur pour utiliser le même appareil comme collecteur ou comme radiateur.

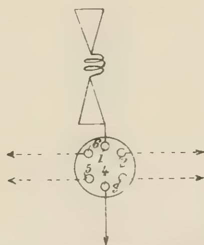


Fig. 245. — Collecteur ou radiateur de période déterminée.

à envoyer ou à recueillir les ondes, peut être un radiateur ou un résonateur de période déterminée, ainsi que le montre la figure 245, dont toutes les autres parties sont identiques à celles de la figure 244. Dans ces condi-

tions les oscillations de période déterminée mises en jeu dans le résonateur agissent sur le cohéreur dès qu'elles ont acquis, par suite du phénomène de la résonance, une puissance suffisante.

» 16. En certains cas, nous employons deux connexions à la terre ou deux fils partiellement isolés, et, dans ces cas, auxquels se rapporte la figure 246, nous connectons

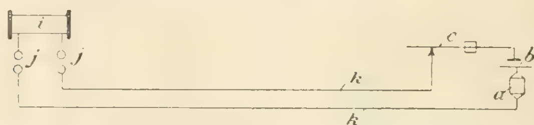


Fig. 246. — Transmission des ondes par fils partiellement ou complètement isolés.

la bobine de l'appareil transmetteur aux deux interrupteurs *jj* (dont les longueurs d'étincelles peuvent être modifiées à volonté) reliés eux-mêmes aux conducteurs *kk* et nous disposons le circuit du cohéreur, soit en série, soit en shunt avec la pile et le récepteur aux autres extrémités des conducteurs. Quand la pile et le détecteur sont en série, il est bon de disposer un condensateur en dérivation. »

Les revendications qui terminent cette description sont au nombre de huit ; ce sont :

1. L'emploi, dans le circuit récepteur d'un système de télégraphie à ondes hertziennes, de deux ou d'un plus grand nombre de cohéreurs réunis en arc multiple et les moyens par lesquels ces cohéreurs sont successivement décohérés.

2. L'invention d'un cohéreur construit comme l'indique en principe la figure 235.

3. L'invention d'un système télégraphique comprenant un ou plusieurs conducteurs métalliques nus ou non isolés entre les deux stations employés pour transmettre les effets d'ondes électriques ou de courants discontinus ou

intermittents capables d'exciter un cohéreur dans un circuit comprenant ce dernier appareil.

4. L'emploi dans le circuit du cohéreur d'un condensateur *n* ou de tout autre appareil équivalent pour le but indiqué précédemment.

5. L'utilisation de circuits de cohéreur disposés comme il est indiqué dans les figures 238, 239 et 240.

6. L'utilisation d'un circuit de cohéreur comprenant un pont de Wheatstone dont l'une des branches contient le cohéreur et dont une autre branche contient un électro-aimant produisant la décohésion.

7. Celle d'une disposition formée de trois circuits parallèles contenant respectivement : une pile et une résistance variable ; un appareil récepteur et un condensateur ou autre appareil équivalent ; enfin un cohéreur.

8. Les moyens indiqués ci-dessus de déceler et d'inscrire les variations d'intensité de courant se produisant dans un circuit de cohéreur.

Perfectionnements au système synthone de télégraphie sans fil, par O. Lodge. Brevet anglais n° 11 575 du 5 février 1898, accepté le 10 août 1898. — Comme il est dit dans le paragraphe 15 du brevet précédent, les plaques de ciel servent non seulement à envoyer ou

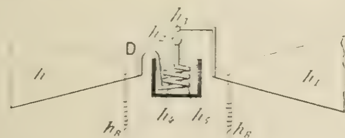


Fig. 247. — Radiateur de période déterminée.

recueillir des ondes quelconques, mais de radiateur et de résonateur d'ondes de période déterminée.

La figure 247 représente une de ces dispositions. En *h* et h_1 sont deux plaques conductrices que l'on peut dis-

poser parallèlement de manière à ce qu'elles forment les deux armatures d'un condensateur, mais qu'il est préférable de disposer l'une à la suite de l'autre. A ces plaques, dont l'une peut être reliée à la terre, sont connectées deux boules h_2 et h_3 entre lesquelles jaillissent les étincelles excitatrices, et qu'une cage en verre protège contre l'influence des rayons ultra-violets. Le fil reliant l'une des boules h_2 à la plaque correspondante h est enroulé en hélice, de manière à introduire dans le circuit de décharge une self-induction convenable pour produire des ondes de période déterminée ; ces spires sont placées dans un récipient h_5 rempli d'huile. Les fils h_8 servent à relier les plaques du radiateur à la source électrique.

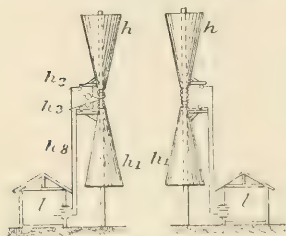


Fig. 248. — Radiateur et collecteur coniques.

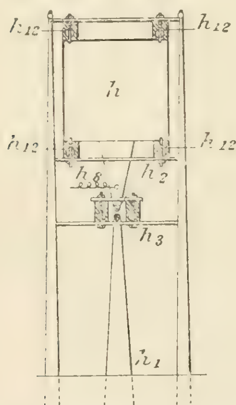


Fig. 249. — Radiateur avec plaque verticale.

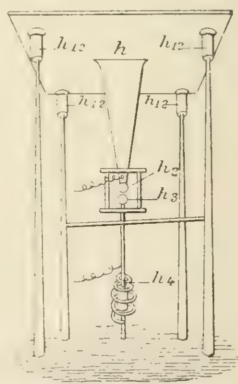


Fig. 250. — Radiateur avec plaque horizontale.

Une autre disposition est indiquée sur la figure 248, qui représente une station de départ et une station d'ar-

rivée. Les plaques sont remplacées par des cônes supportés par un poteau placé suivant leur axe commun.

L'une des plaques peut être supprimée et remplacée par la terre ; c'est la disposition représentée par la figure 249.

Les dispositions précédentes ont l'inconvénient d'offrir une très grande surface à l'action du vent. Pour éviter cet inconvénient on peut constituer le conducteur isolé

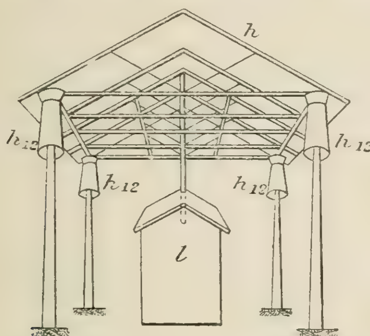


Fig. 251. — Radiateur avec plaque de ciel en forme de toit.

par un toit métallique supporté par des poteaux munis d'isolateurs h_{12}, comme l'indiquent les figures 250 et 251.

La source d'électricité peut être une bobine Ruhmkorff, une bobine de Tesla ou une machine à influence. Sa liaison au radiateur peut s'effectuer de trois manières différentes :

La plus simple consiste à relier les fils h_8 directement

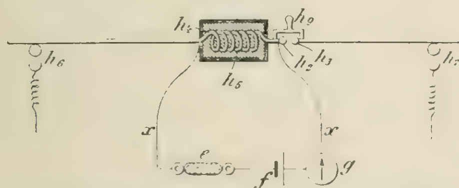


Fig. 252. — Connexions du radiateur ou du collecteur aux appareils de transmission et de réception.

au radiateur. Une seconde manière, indiquée sur la figure 252, consiste à placer deux interrupteurs à étin-

celles h_6 et h_7 sur le trajet des fils de jonction. Les conducteurs h et h_1 se trouvent ainsi chargés plus soudainement et l'on peut faire varier la durée de la charge en modifiant l'intervalle séparant les boules des interrupteurs. Suivant une troisième manière, un condensateur j (fig. 253) est intercalé sur chacun des fils de jonction; ces

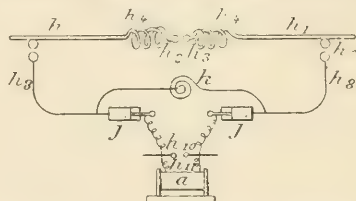


Fig. 253. — Autre mode de connexions.

condensateurs sont chargés et déchargés par suite du passage des étincelles entre les boules h_{10} et h_{11} d'un excitateur relié aux deux pôles de la source; il en résulte des étincelles en h_6 et h_7 et, par suite, des charges périodiques des conducteurs h et h_1. Les armatures externes des deux condensateurs peuvent être reliées par un fil k, mais dans ce dernier cas on doit intercaler sur le circuit une bobine ayant une self-induction suffisante pour que les oscillations produites par les décharges entre h_{10} et h_{11} ne puissent prendre le chemin k et donnent lieu à des décharges en h_6 et h_7.

Les deux dernières manières de charger les deux conducteurs h et h_1 ont sur la première l'avantage de ne nécessiter aucune liaison permanente entre ces conducteurs et la source d'électricité. Les décharges qui se produisent entre les boules h_2 et h_3 ont, dès lors une période ne dépendant que de la capacité et de la self-induction des conducteurs h_1 et h_2 et de leurs accessoires, mais ne dépendant pas de la source d'électricité ni des connexions.

La bobine de self-induction h_4 placée entre l'une des boules de décharge et le conducteur correspondant

(fig. 247 et 252) est constituée par un fil ou un ruban de haute conductibilité isolée, soit par de l'huile comme il a été dit, soit par une couche d'épaisseur suffisante d'un isolant solide, soit tout simplement par l'air. Sa forme peut être quelconque, plate, cylindrique ou en fer à cheval. Elle peut être divisée en deux parties placées de chaque côté des boules de décharge comme il est indiqué sur la figure 253. Elle peut être à noyau d'air ou à noyau en fils de fer (fig. 254).

Si l'on veut modifier la période des ondes émises par le radiateur on doit pouvoir modifier la self-induction de cette bobine. Plusieurs procédés permettent d'arriver à ce but. L'un consiste à disposer sur les spires de la

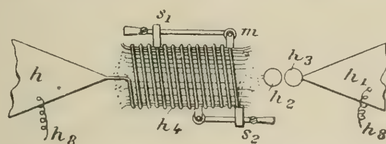


Fig. 254. — Dispositif de réglage de la self-induction.

bobine des commutateurs s_1, s_2 (fig. 254) qui, suivant que leurs manettes sont relevées ou abaissées, mettent hors du circuit ou dans le circuit de décharge un plus ou moins grand nombre de spires. Un autre moyen consiste à prendre plusieurs bobine h_4, h'_4, h''_4 (fig. 255) de self-inductions différentes munies de boules h_2, h'_2, h''_2 et qui sont reliées à des interrupteurs à godets A_1, B_1, C_1 ; au moyen du cavalier représenté par la figure 256 on introduit l'une ou

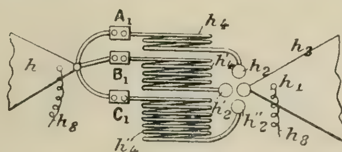


Fig. 255. — Autre dispositif de réglage de la self-induction.

l'autre des bobines dans le circuit de décharge. Enfin un troisième procédé consiste à rapprocher ou à éloigner les spires d'une bobine, en exerçant sur l'hélice une pression ou une tension modifiant son pas; ce procédé est particulièrement satisfaisant pour achever le réglage.

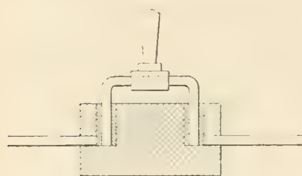


Fig. 256. — Interrupteur.

Le résonateur chargé de recueillir les ondes émises par le radiateur est semblable à ce dernier appareil. Il n'en diffère qu'en ce que l'interruption h_2h_3 existant entre les deux parties de celui-ci est supprimée. Si en un même poste le même appareil doit servir successivement comme radiateur et comme résonateur, on doit, lorsqu'il sert comme résonateur, établir une communication métallique entre les deux parties h et h_1; une clef semblable à celle de la figure 256 remplit ce but.

L'établissement de cette communication suffit pour transformer un transmetteur en récepteur, si la charge des plaques, lorsque l'appareil fonctionne comme transmetteur, s'effectue par l'une des deux dernières des trois manières indiquées précédemment. Mais si la source d'électricité est reliée aux plaques directement (fig. 247), il faut effectuer, outre la mise en communication des plaques, leur déconnexion d'avec la source.

Comme cohéreurs, M. Lodge emploie soit des cohéreurs à limaille, genre Branly, soit des cohéreurs à contact unique dont il a été question dans le brevet précédent. Pour construire les premiers il se sert de poudres ou de limailles de dimensions bien uniformes; il préfère des limailles de fer enfermées dans un tube vide, les électrodes étant constituées par des fils de platine très fin scellés dans le verre et dépassant à peine la face interne du tube. Le cohéreur à contact unique est représenté par

la figure 257. Il se compose d'une pointe *n* en acier ou en platine appuyant légèrement sur une languette flexible *o*

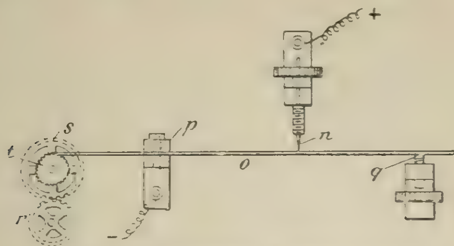


Fig. 257. — Cohéreur à contact unique.

en aluminium ou en acier, fixée en *p* et reposant en *q* sur une vis de réglage ; une roue *t* à denture très fine, entraînée par un mouvement d'horlogerie *rs*, imprime à la languette une série de petites vibrations ; d'autres dispositifs peuvent, comme on l'a vu dans le brevet précédent, être employés dans le même but.

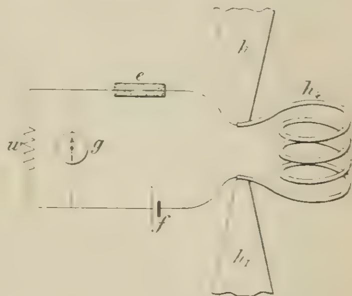


Fig. 258. — Poste récepteur.

La disposition la plus simple du circuit récepteur est indiquée par la figure 252. La figure 258 en représente une autre où les bornes de l'appareil récepteur sont reliées par un shunt *w*. Dans une autre disposition, représentée par la figure 259, ce sont les oscillations induites par la bobine h_4 dans la bobine *u* qui agissent sur le cohéreur ; le résonateur

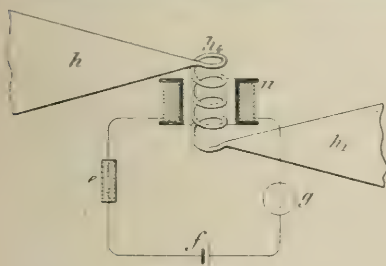


Fig. 259.
Poste récepteur, autre disposition.

peut alors vibrer électriquement sans que les oscillations dont il est le siège soient troublées par les fils de connexions avec le circuit de réception.

Appareil multiple pour télégraphie sans fil, par Bertram Cohen et Ph.-H. Cole. Brevet anglais, n° 5543 du 14 mars 1899, accepté le 10 mars 1900. — Ce système permet à plusieurs stations munies d'appareils de télégraphie sans fil de communiquer entre elles simultanément deux à deux sans se troubler les unes les autres ni mêler leurs transmissions.

L'arrangement qui permet ce partage met les stations successives en instance de réception ou de transmission pendant l'intervalle de temps de une minute, si bien que s'il y a 10 stations le cycle complet se répète toutes les dix minutes. Durant cet intervalle de temps toute station a pu soit recevoir, soit transmettre à toute autre station.

Chaque station possède un dispositif de réception propre à enregistrer les ondes électriques. En outre il se trouve à chaque station une série de clefs permettant d'actionner une bobine d'induction.

Un dispositif spécial et qui constitue la partie originale de l'invention met en communication chaque groupe de deux stations. Ce dispositif que les inventeurs appellent *sélecteur* n'est autre qu'un distributeur. Un type de sélecteur est représenté par les figures 260 et 261. Il est constitué par des balais *h*, *h*, *h* qui, animés d'un mouvement de rotation, viennent frotter sur la suite de contacts *k*, k_1, k_2,... *l* disposés suivant un arc de circonférence et isolés les uns des autres.

Le mouvement de rotation est commandé par un électro-aimant *f* qui met en mouvement le mécanisme provoquant la rotation par l'attraction d'un déclic. L'axe porte-balai peut faire un quart de tour avant d'être à

nouveau arrêté par le jeu du déclic. Un des balais est alors durant ce mouvement venu en contact successivement avec tous les contacts s'étageant de *k* à *l*.

Un autre type de sélecteur a pour organe mobile une gouttelette de mercure qui coule le long du tube incliné.

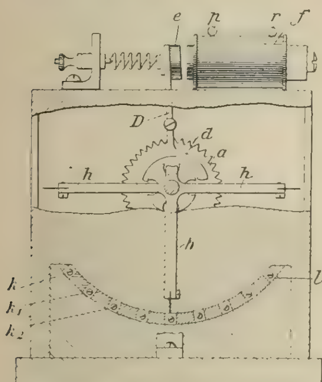


Fig. 260. — Appareil multiple Cohen et Cole. Coupe verticale du sélecteur.

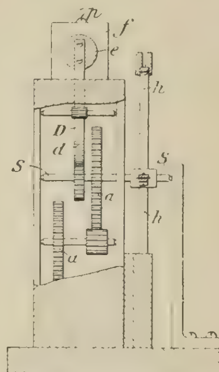


Fig. 261. — Appareil multiple Cohen et Cole. Coupe transversale du sélecteur.

Ce sélecteur est représenté ainsi que tous les organes nécessaires au montage d'un poste par la figure 262.

La figure suppose le cas de quatre stations. Le dispositif et les connexions sont identiques pour toutes les stations. Une des stations, celle dite *station synchronisante* est dépourvue de quelques connexions supplémentaires. Ces connexions sont représentées en pointillé dans la figure. C'est cette station qui commande et règle le débit et par là le volume de la goutte de mercure qui, à chaque station, parcourt le tube incliné.

Sélecteur ou distributeur. — Un réservoir de mercure *a* est muni à sa partie inférieure d'un robinet *b* qui permet au mercure d'avoir accès dans l'ampoule *c*. Un second robinet *d* permet de diviser le mercure contenu en *c* en gouttelettes qui suivent le tube incliné *g*. Ce tube est en

matière isolante, sauf une bande h disposée dans le sens d'une génératrice et mise en relation avec la borne h'. Des pointes métalliques équidistantes k, k_1, k_2,... l traversent le tube perpendiculairement à son axe et sont étagées suivant une génératrice diamétralement opposée à la bande conductrice.

Ces pointes sont au nombre de neuf, c'est-à-dire une de plus que le double du nombre de stations.

Synchronisme. — Étudions d'abord le jeu du synchronisme.

A la station synchronisante on abaisse une première

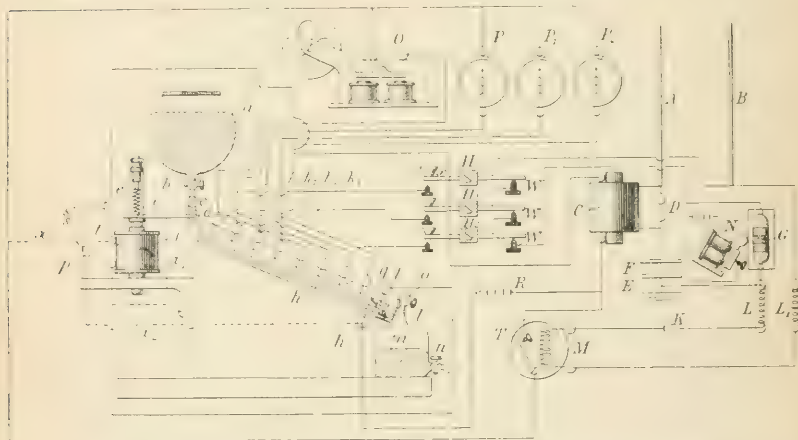


Fig. 262. — Appareil multiple Cohen et Cole avec sélecteur à gouttes de mercure.

fois à la main le levier e. Le robinet d s'ouvre, une gouttelette de mercure pénètre dans le tube. L'action du ressort antagoniste e' referme le robinet d.

La goutte suit le tube et avant de tomber dans le vase m, elle met en relation les bornes l et h'. A la station synchronisante le circuit h' R C t f l se trouve donc fermé. La pile R actionne alors la bobine d'induction C et

l'électro-aimant f. Cet électro-aimant agit sur le levier e et permet à une seconde goutte de mercure de pénétrer dans le tube incliné.

Quant à la bobine d'induction elle entretient pendant la durée du contact l'excitateur D. Une émission d'ondes électriques part donc de l'antenne d'émission A. Quel effet va-t-elle produire aux trois autres stations ? Reçue par l'antenne de réception B elle rend leur cohéreur G conducteur. A chaque station le circuit G L K M L_1 W W W G se trouve donc fermé et le relais T est actionné. Alors à chacune des trois stations le circuit T x f x_1 e s p x_2 h' R T est fermé. La pile R actionne l'électro-aimant f et le robinet d se trouve ouvert à chaque station en même temps et le même laps de temps. La durée d'ouverture du robinet d est celle du contact de la goutte de mercure avec le contact l de la station synchronisante.

Ainsi donc au même instant une goutte de mercure est introduite à la partie supérieure du tube incliné de chaque station et cela tant à la station synchronisante qu'aux trois autres stations.

Comment le synchronisme se maintient-il et comment obvie-t-on aux différences inévitables entre les volumes des quatre gouttes de mercure contemporaines ? A cet effet, aux trois stations synchronisées, le contact l n'est pas constitué par un simple fil mais il se trouve formé d'une petite bande représentée en pointillé par l'.

De cette manière la communication assurée par la goutte de mercure entre les bornes l et h' est prolongée : elle commence un peu avant que la goutte atteigne la pointe l et se prolonge un peu après qu'elle a cessé de toucher la pointe l.

Si donc il arrive que la goutte de mercure qui a eu précédemment accès dans le tube par le jeu du robinet d, ouvert sous l'action des ondes, est en retard ou en avance sur celle qui est émise à la station synchronisante, la fer-

meture du circuit à travers l'électro-aimant *f* ne s'en produit pas moins. Cette fermeture ne pourrait être obtenue si le contact avec la borne *l* n'était ainsi prolongé et que la goutte eût cessé de toucher la pointe *l* ou ne l'eût pas atteint. En effet, aux trois stations synchronisées le premier mouvement du levier *e* produit la suppression de la communication de ce levier avec le ressort *s*, qui demeure dans la position *s'*. La fermeture du circuit à travers l'électro-aimant ne peut donc plus être produite que par la réunion des bornes *l* et *h'* par la goutte de mercure.

Le synchronisme étant ainsi réglé au même instant à chaque station, une goutte de mercure fait communiquer la bande conductrice *h* avec la même pointe. Nous allons examiner la manière dont les communications simultanées sont assurées entre les stations.

Transmission. — Supposons que la station synchronisante n° 1 transmette à la station n° 2. On doit pour cela abaisser le levier H. Le circuit H k_1 *h'* R C *t* H se trouve fermé au moment du passage de la goutte de mercure en face de la pointe k_1 (Les axes H, H_1, H_2 sont en effet reliés à toutes les stations avec la borne *t*. Cette connexion a été omise pour ne pas surcharger la figure). A ce moment une émission d'ondes a lieu en A. Cette émission reçue par les trois antennes B des stations synchronisées, a rendus conducteurs les cohéreurs G et les relais T ont été actionnés aux trois stations. Alors le circuit T O k_1 *h'* R T a été fermé à la station n° 2, et le récepteur O de cette station a été actionné. A la station n° 3 les connexions sont telles que c'est le galvanomètre P qui y a été actionné par le passage de la goutte de mercure en face de la pointe k_1. A la station n° 4, le galvanomètre P a également été actionné de la même manière. Ces galvanomètres P, P_1, P_2, sont placés pour indiquer par leur mouvement quelles stations reçoivent des ondes afin qu'on ne puisse venir intempestivement troubler la réception.

Dans le cas actuel les stations 3 et 4 seront averties par le mouvement des galvanomètres P que la station 2 reçoit. On ne devra donc pas toucher au manipulateur réservé à la transmission à la station 2.

Cela n'empêchera pas les stations 3 et 4 de communiquer entre elles. Elles profiteront pour cela du passage de la goutte de mercure en face de la septième et la huitième pointe. La septième pointe étant par exemple réservée à la transmission de 3 vers 4 et la huitième à celle de 4 vers 3.

Il est une particularité au sujet de laquelle les inventeurs ne donnent aucun détail. C'est la manière dont on opère pour abaisser le manipulateur convenable au moment même où la goutte de mercure touche la pointe qui doit assurer la communication dérivée. Ils ne s'expliquent pas non plus sur le procédé qu'ils emploient pour pouvoir utiliser les signaux Morse dans leur système multiple. Chaque goutte de mercure restant le même laps de temps en contact avec une des pointes on ne s'explique pas comment l'abaissement plus ou moins prolongé d'un manipulateur, peut donner naissance, tantôt à une émission longue d'ondes électriques, tantôt à une émission brève.

Perfectionnements à la télégraphie par ondes hertziennes permettant aux signaux d'être transmis à toute distance au moyen de relais intermédiaires, par Ph.-H. Cole et Bertram Cohen. Brevet anglais n° 7641, du 11 avril 1899, accepté le 17 mars 1900. — Pour atteindre ce but, on place aux stations intermédiaires des relais qui, fermant un circuit local à travers une bobine d'induction, déterminent ainsi une nouvelle émission d'ondes qui atteint la station suivante.

Un inconvénient est à prévoir : si la quatrième station répète un signal, l'émission d'ondes produite affecte les

troisième et cinquième stations qui à leur tour agissent sur chaque couple de stations voisines, si bien que les ondes, tout en se propageant de stations en stations reviennent également à la station d'émission.

Parmi les divers moyens qui permettent d'obvier à cet inconvénient, nous citerons les suivants :

Un premier moyen consiste à arranger l'armature du relais de chaque station, de telle sorte que lorsque l'onde émise revient à cette station, elle trouve l'appareil de réception incapable d'enregistrer encore une onde. Ce moyen est un peu lent et ne se prête guère à l'expédition des messages.

Un autre moyen utilise un arrangement de commutateurs synchronisés de telle manière que, lorsqu'un signal vient d'être envoyé, le circuit de l'appareil de réception est coupé à la station d'émission et ne peut ainsi être affecté par les ondes de retour provenant de la station voisine. Ainsi, si la deuxième station envoie des ondes, le récepteur de la première station est hors du circuit et de même pour le récepteur de la deuxième station quand la troisième station transmet.

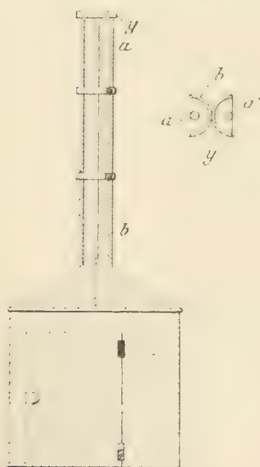


Fig. 263. — Système Cole et Cohen. Antennes d'une station intermédiaire.

Le troisième moyen consiste à employer comme antennes deux fils verticaux à chaque station. Chaque antenne est garantie contre les ondes émises par sa voisine à l'aide d'un demi-cylindre de métal qui la suit dans toute sa longueur et est terminé au sommet par un capuchon de telle sorte que les signaux peuvent être

reçus seulement dans une direction par une des antennes et transmis dans la direction opposée par l'autre antenne et vice versa.

Les figures 263 et 264 montrent les appareils d'une station intermédiaire. a, a' sont les deux antennes, chacune permettant de recevoir ou de transmettre dans une seule direction, grâce à l'écran b.

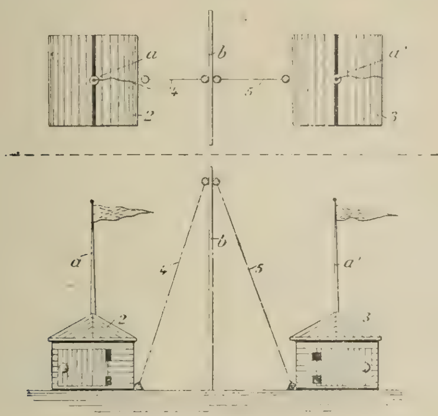


Fig. 264. — Système Cole et Cohen. Poste intermédiaire.

Les détails sont représentés figure 265 : c est une bobine d'induction avec un excitateur d pour transmettre les ondes ; e et e' sont les cohéreurs, et en connexion avec eux sont les relais h et h' actionnés par la pile w. l et l' sont deux relais auxiliaires, s, une batterie, f et f' les trembleurs servant à décohérer e et e' ; t, un condensateur et v, la terre.

Ce dispositif fonctionne de la manière suivante : les stations extrêmes sont constituées à la manière habituelle, les stations intermédiaires le sont comme le montre la figure 265.

Supposons qu'un train d'ondes soit envoyé de la première station et soit reçu sur le fil a de la première station

intermédiaire. Ces ondes passent du pôle *a* à travers le levier *m* du relais auxiliaire *l* qui est sur le contact *o*, puis à travers le cohéreur *e* et se rend à la terre en *v*. Alors

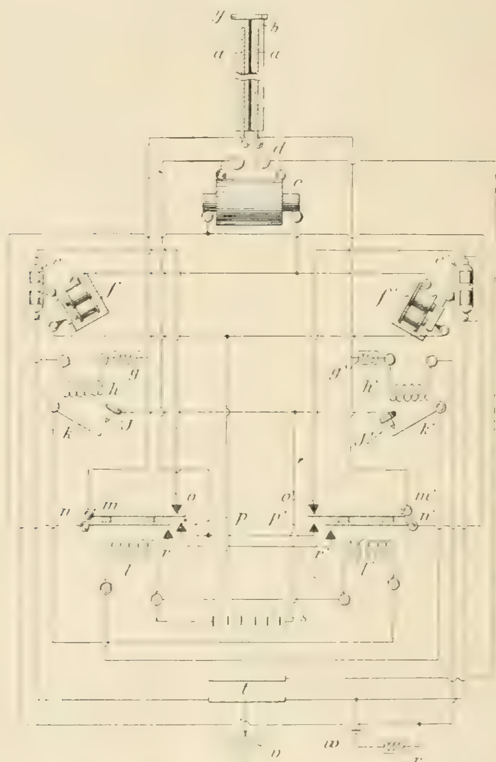


Fig. 265. — Système Cole et Cohen. Détails du relais disposé à une station intermédiaire.

le circuit de relais *h* est fermé : *k* vient en contact avec *j* et la batterie *s* actionne le relais l'. Alors les deux leviers m' et n' viennent en contact respectivement avec p' et r'. Le levier supérieur m' coupe ainsi la communication entre le cohéreur e' et le pôle a' et met cette antenne a' en relation avec l'un des pôles de l'excitateur de la bobine *c*.

Le levier inférieur n' ferme par r' le circuit de la batterie s à travers les décohéreurs f' et f'' et le primaire c. Les ondes se trouvent ainsi transmises à nouveau par a' à la deuxième station intermédiaire.

Système de télégraphie sans fil Slaby-Arco. — *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1900. — Le dispositif adopté dans ce système permet de réaliser un appareil pratique et résistant. Le but que l'on s'est proposé est plutôt d'obtenir un appareil robuste qu'un dispositif présentant sur les précédents une supériorité relativement aux distances franchies.

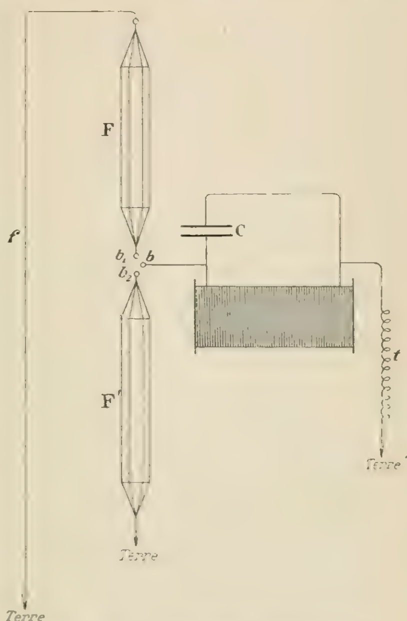


Fig. 266. — Système Slaby-Arco. Poste transmetteur.

La bobine d'induction B (fig. 266) peut être entretenue par un courant continu, on utilise alors un interrupteur ; elle peut encore être branchée directement sur un circuit parcouru par des courants alternatifs, sans l'intermédiaire d'un interrupteur. — Un condensateur en micanite C disposé sur la bobine même et faisant corps avec elle est relié aux extrémités du fil induit. L'un des pôles de la bobine est en communication avec une des sphères b de l'exploseur ; l'autre pôle est relié par le fil t avec la terre. — L'antenne est constituée par deux fils ou mieux deux filets conduc-

teurs F, F′ formés d'une série de fils métalliques parallèles, reliés à leurs extrémités et offrant l'image d'une bande assez longue et de petite largeur. Chaque extrémité des filets F, F′ communique, d'une part, avec l'une des boules b_1, b_2, de l'exploseur, d'autre part, avec la terre. Le filet inférieur F′ est directement relié au sol : le filet F, par l'intermédiaire d'un fil f. — L'exploseur est constitué par trois sphères b, b_1, b_2 dont une seule b, communique directement avec la bobine d'induction.

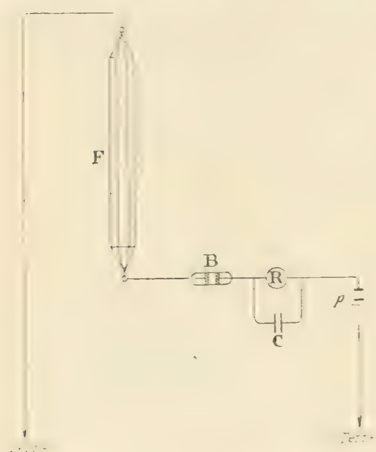


Fig. 267. — Système Slaby-Arco. Poste récepteur.

Les organes de réception comprennent (fig. 267) : un filet-antenne F, un cohéreur B et un relais R. Placé en dérivation sur le relais se trouve un condensateur C. — Un perfectionnement à signaler concernant le circuit du cohéreur est le suivant. Les choses sont disposées de telle sorte que les coups du marteau du trembleur servant à la décohésion ne se produisent que lorsque le courant envoyé au cohéreur par la pile p a été supprimé. Ce moyen procure une décohésion plus facile.

Ce système permet actuellement l'échange de signaux à une distance de 45 km avec des antennes de 35 à 40 mètres de hauteur. — Il a été adopté par le gouvernement allemand pour le corps expéditionnaire de Chine.

Système de télégraphie sans fil et sans cohéreur Barber Starkey. — *Electrical Review de Londres*, 1900.

— Ce système n'offre guère qu'un intérêt de pure curiosité et ne semble pas susceptible d'être utilisé pour des transmissions à de longues distances.

Le transmetteur est constitué par un fil conducteur vertical surmonté d'un cube de métal C (fig. 268). L'extrémité inférieure du fil est en relation avec une sphère conductrice S, placée à peu de distance du pôle P d'une

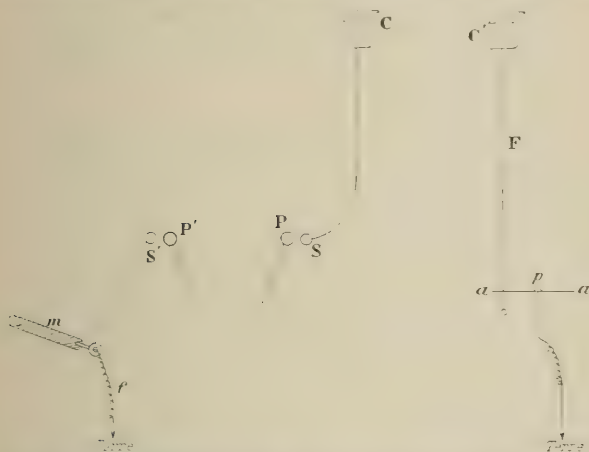


Fig. 268. — Système Barber Starkey sans fil et sans cohéreur.

machine électrique de Wimshurst. Le second pôle de la machine est représenté par la sphère P'. A l'aide d'un manche isolant *m* on peut, à volonté, approcher ou éloigner de ce pôle P' une sphère S' mise en communication avec la terre par le fil *f*.

Le dispositif récepteur se compose d'un cube métallique C' identique au précédent auquel est également suspendu un fil métallique F. Le cube C' et le fil F sont isolés. — Une aiguille métallique *a*, *a*, de préférence en papier d'argent, est délicatement suspendue au moyen d'un pivot *p* ; ce pivot est conducteur et relié à la terre. — L'extrémite *a* de l'aiguille est placée très près du conducteur F, sans cependant le toucher.

La machine électrique étant en activité, chaque fois qu'on rapproche suffisamment la sphère S′ du conducteur P′, deux étincelles partent simultanément l'une entre S et P, l'autre entre S′ et P′. — On constate au même instant que l'aiguille *a*, *a* s'éloigne vivement du conducteur F.

M. Barber Starkey a pu ainsi actionner l'aiguille, les dispositifs transmetteur et récepteur étant placés à une distance de 11 mètres. La hauteur des fils qui aboutissent aux cubes était de 2,40 m.

Système de télégraphie sans fil Anders Bull (1). — Le principe de ce système est le suivant. Le manipulateur du poste transmetteur ne ferme pas directement le circuit primaire de la bobine chargée de produire les ondes hertziennes ; son rôle se borne à percer, à chaque manœuvre, un trou dans une bande de papier épais qui se déroule au-dessous de lui. Cette bande glisse ensuite entre une plaque métallique et des balais placés à la suite les uns des autres et tous reliés entre eux. Quand la perforation passe sous un balai, un contact s'établit entre celui-ci et la plaque métallique et ce contact ferme le circuit d'un relais qui à son tour ferme le circuit primaire de la bobine. Par conséquent, chaque manœuvre du manipulateur envoie dans l'espace autant de trains d'ondes hertziennes qu'il y a de balais sous lesquels glisse la bande de papier. Pour fixer les idées, admettons qu'il y en ait quatre, distants les uns des autres de longueurs *a*, *b*, *c*. Si le mouvement de la bande de papier est uniforme les trains d'ondes se succèderont à des intervalles de temps proportionnels à *a*, *b*, *c*. Le cohéreur du poste récepteur se trouvera par conséquent influencé à ces mêmes intervalles ; il en sera de même du relais qu'il

---

(1) ANDERS BULL. (*The Electrician*, t. XLVI, p. 573. 8 février 1901.)

commande et si le circuit de ce relais fait agir un perforateur située au-dessus d'une bande de papier se déroulant avec la même vitesse que celle du poste transmetteur, cette bande se trouvera percée de quatre trous distants les uns des autres de *a*, *b*, *c*. Faisons maintenant passer cette bande de papier entre une lame métallique et quatre balais disposés à des distances *a*, *b*, *c*, les uns des autres et reliés *en série* entre eux. Quand les quatre trous de la bande se trouveront sous les balais, un circuit contenant l'appareil télégraphique récepteur se trouvera fermé et le signal envoyé par la station transmettrice se trouvera inscrit ou rendu visible à la station de réception.

On voit par cette description que pour que deux stations puissent communiquer ensemble, il faut que les balais soient en même nombre et disposés de la même manière et que les bandes de papier se déroulent avec la même vitesse [1].

En d'autres termes, il faut qu'il y ait synchronisme entre les deux appareils transmetteur et récepteur.

On conçoit immédiatement comment il devient possible que les signaux envoyés en A et destinés à la station B ne puissent influencer le récepteur d'une autre station C ; il suffit que le nombre ou l'écart des balais du récepteur de cette dernière station ne soit pas le même qu'en A et en B. Il arrivera bien que le cohéreur de C sera influencé par chaque train d'ondes et pour chacun de ceux-ci le perforateur percera un trou dans la bande de C ; mais comme les quatre trous fournis par un même signal ne pourront se trouver au même instant sous les balais, le circuit du récepteur ne pourra être fermé, les balais

---

[1] En réalité les vitesses de déplacement des bandes peuvent être différentes mais alors il faut que les distances *a'*, *b'*, *c'* des balais du poste récepteur soient par rapport à *a*, *b*, *c* dans la même proportion que les vitesses de déplacement des bandes du récepteur et du transmetteur.

étant, comme il a été dit, reliés en série et le défaut de contact d'un seul d'entre eux empêchant la fermeture du circuit.

La possibilité de recevoir en A dans deux récepteurs distincts les signaux émis en B et en C, est évidente : il suffit d'avoir l'un des récepteurs accordés avec B, l'autre avec C.

Quant au secret des transmissions, il ne peut être absolu, car il est sinon commode, du moins possible d'arriver par tâtonnements à régler un appareil de manière à inscrire les signaux transmis par une station. Toutefois, on a la faculté de rendre les difficultés de réglage presque insurmontables en envoyant de la station transmettrice, en même temps que les signaux destinés à la station réceptrice, des trains d'ondes rhytmés d'une façon quelconque qui n'auront aucun effet sur cette dernière, mais dérouteront complètement ceux qui chercheraient à surprendre le rhytme des véritables signaux.

On pourrait craindre que lorsqu'une station se trouve dans la zone d'influence de plusieurs autres, les perforations produites par les trains d'ondes, ne se trouvent par hasard précisément dans les conditions requises pour faire fonctionner le récepteur. Cette crainte, sans être absolument chimérique, n'est guère fondée, car l'on peut rendre très minimes les chances d'avoir un fonctionnement intempestif du récepteur, en séparant les signaux par un intervalle de temps relativement grand, par rapport aux intervalles qui séparent chacun des trains d'ondes dont l'ensemble forme un signal. On doit d'ailleurs choisir ces derniers intervalles, pour les transmetteurs dont les ondes peuvent influencer une même station, de telle sorte qu'il n'y ait égalité ni entre deux d'entre eux, ni entre les sommes de ces intervalles, pris deux à deux ou trois à trois. Ainsi, en désignant par a, b, c ; d, e, f ; g, h, i ; k, l, m, les intervalles de quatre trans-

metteurs, on les prendra de telle sorte qu'aucune des quantités :

$$\begin{array}{cccc} a, b, c & d, e, f & g, h, i & k, l, m \\ a+b, b+c & d+e, e+f & g+h, h+i & k+l, l+m \\ a+b+c & d+e+f & g+h+i & k+l+m \end{array}$$

n'ait la même valeur. Par exemple, on prendra les intervalles 9, 4, 5 ; 2, 6, 12 ; 11, 5, 17 ; 3, 7, 14, qui satisfont à cette condition tout en ayant des valeurs assez faibles pour pouvoir être utilisés.

Mais jusqu'ici, nous n'avons envisagé que la transmission d'un seul signal. Or, tout système télégraphique exige au moins deux espèces de signaux. Pour la transmission dans le code Morse, l'inventeur propose de convenir qu'un point correspondra à un signal unique et un trait à deux signaux très rapprochés, ou mieux, de prendre deux transmetteurs ayant des intervalles différents, les signaux de l'un étant considérés comme des points, ceux de l'autre comme des traits de l'alphabet Morse.

Suivant l'auteur, l'emploi du télégraphe imprimant Hughes, serait des plus commodes avec ce système de transmission ; l'emploi de cet appareil rendrait à peu près impossible la compréhension des signaux interceptés en cours de transmission.

IV. — Application des ondes électriques a la manœuvre d'appareils a distance.

Méthode et appareils pour actionner les gouvernails au moyen des ondes calorifiques, lumineuses ou électriques, par Axel Orling et G. Georg Braunerhjelm. Brevet anglais n° 1865, du 26 janvier 1899. Accepté le 13 janvier 1900. — D'après ce brevet les inventeurs obtiennent le maniement à distance des gouvernails au moyen d'ondes calorifiques, lumineuses ou électriques

émises par une source. Ces ondes agissent sur des résistances comprises au nombre des organes de l'appareil de réception. La matière qui constitue ces résistances est sensible aux dites ondes.

Dans les appareils de cette nature, proposés avant celui-ci, on fait usage d'un rayonnement continu agissant sur des résistances sensibles et en faisant varier la valeur. Ici le rayonnement envoyé est intermittent. L'appareil est construit de telle sorte qu'une courte ou longue émission d'onde actionne le récepteur dans un sens opposé à celui qu'il présente précédemment.

La figure 269 montre un schéma de l'appareil et des connexions établies.

Le circuit s_1 comprend une pile B_1, une résistance x qui constitue le récepteur et est sensible aux rayons émis et en dernier lieu un électro-aimant M_1 qui, lorsque les ondes agissent sur x, attire l'armature a_1. Cette armature est maintenue, au repos, éloignée du contact k_2 par le ressort antagoniste f_1.

Le relais M_1 produit donc ainsi la fermeture ou l'ouverture du circuit s_2.

Le circuit s_2 comprend une pile B_2 et un électro-aimant M_2.

Lorsque les ondes n'agissent pas en x le circuit s_2 est ouvert. Il se trouve fermé dès qu'elles permettent l'établissement du courant de la pile B_1 dans l'électro-aimant M_1.

M_2 attire alors le levier a_2 qui, mobile en o, porte en t un style st susceptible de venir heurter la pièce m et de la faire basculer soit à droite soit à gauche de sa position horizontale, position pour laquelle le style st se trouve en face de la dent médiane dont est munie cette pièce.

On conçoit aisément que la pièce m soit actionnée à chaque attraction de l'armature a_2 et vienne alternativement presser sur l'un ou sur l'autre des deux ressorts f_3,

f_4. Ces ressorts viennent alors au contact des pièces k_3, k_4, et la pile B_3 se trouve fermée à travers l'un ou l'autre des deux électro-aimants M_3, M_4.

Ainsi, lorsque l'armature a_2 reste attirée, l'un ou

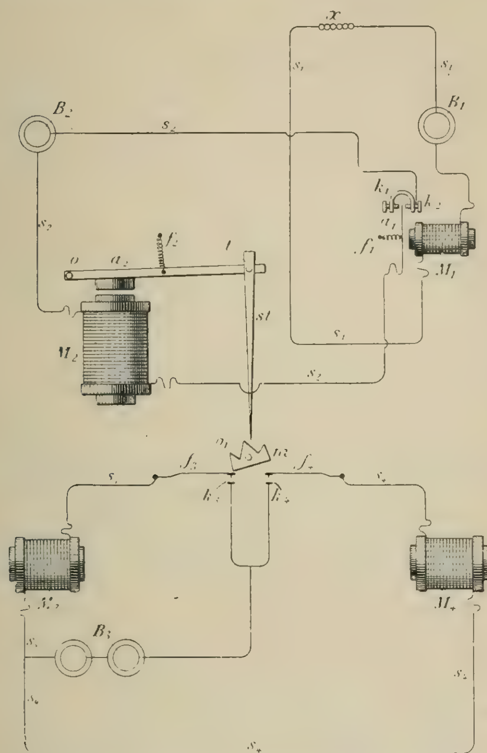


Fig. 269. — Système Orling et Braunerhjelm. Manœuvre d'appareils à distance.

l'autre des circuits s_3 ou s_4 est fermé et l'électro-aimant correspondant M_3 ou M_4 maintient le gouvernail dans une position inclinée. Quand la pression sur la pièce m cesse, le levier f_3 ou f_4 quitte le contact k_2 ou k_4 et le circuit correspondant est coupé. Comme aucun courant ne passe

plus dans les circuits s_3 ou s_4, le gouvernail reprend automatiquement sa position droite.

Il est dès lors possible de diriger le navire dans la direction désirée en exposant le récepteur à de longues ou courtes émissions d'ondes.

Manœuvre des torpilles par les ondes hertziennes, par W. Jammeson et J. Trotter. — *Electrical Review de New-York*, 1899. — MM. Walter Jammeson et John Trotter se sont proposé d'appliquer les oscillations électriques à la manœuvre à distance des torpilles. A cet effet un excitateur convenablement disposé actionne à distance un récepteur disposé sur la torpille.

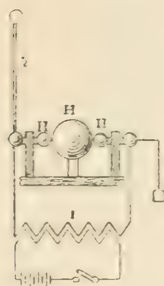


Fig. 270. — Système Jammeson et Trotter. Manœuvre des torpilles : transmetteur.

Le transmetteur se compose d'un excitateur à trois sphères de Lodge, une grande sphère, H (fig. 270), est placée entre deux petites, H_1 H_1 disposées latéralement. L'une des petites sphères est reliée à la terre et à l'une des bornes

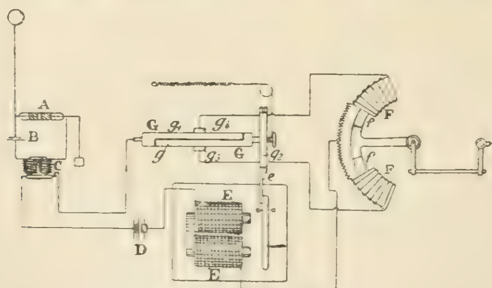


Fig. 271. — Système Jammeson et Trotter. Manœuvre des, torpilles : récepteur.

du circuit induit d'une bobine de Ruhmkorff. La seconde petite sphère est en communication avec le conducteur *h*

servant d'antenne au dispositif et avec le second pôle de la bobine d'induction.

Le récepteur comprend un cohéreur A (fig. 271) très sensible qui, sous l'influence des ondes, actionne un relais C. Ce relais ferme le courant d'une batterie d'accumuteurs D à travers le fil d'un électro-aimant *e*. L'électro-aimant en attirant son armature dégage un cliquet *e*. Ce cliquet permet à un collecteur à deux bagues G de tourner de 180°, envoyant ainsi le courant soit dans le solénoïde F, soit dans le solénoïde F_1. Celui des deux solénoïdes à travers lequel circule le courant, attire une armature qui agit sur la barre du gouvernail de la torpille. Cette borne est ainsi déplacée soit à droite, soit à gauche suivant l'armature actionnée.

V. — Application des cohéreurs a la prévision des orages.

M. Popoff s'est le premier servi du cohéreur comme appareil d'observation pour étudier les phénomènes d'électricité atmosphérique. — Le dispositif dont nous avons donné la description et le schéma, page 109, est celui qu'il utilisait. L'antenne jouait le rôle d'un paratonnerre.

M. Popoff constata que, suivant les prévisions de M. O. Lodge les décharges d'électricité atmosphérique présentaient le caractère des décharges oscillantes et se montraient susceptibles d'influencer un cohéreur.

M. Boggio Lera [1] a associé au cohéreur une série de relais disposés de telle sorte que les actions électriques d'origine atmosphérique qui agissent sur le cohéreur se

(1) Boggio Lera. (*Atti della Academicia Gioenia di Sienza di Catania.* 20 janvier 1900.

traduisent par une inscription sur le tambour d'un enregistreur. L'appareil qu'il nomme *électroriadographe* et qu'il utilise à cet effet comprend toute une série de relais de sensibilités différentes et allant en croissant. Lorsque les ondes électriques d'origine atmosphérique deviennent de plus en plus intenses elles actionnent un nombre de relais de plus en plus grand. Les actions sur les relais se traduisent par l'inscription d'un trait d'autant plus large que les relais actionnés sont plus nombreux. On peut donc suivre par l'observation des traits de l'appareil inscripteur l'éloignement ou le rapprochement du phénomène atmosphérique qui agit sur les cohéreurs.

M. Th. Tommasina [1] a fait servir le cohéreur autocohérable à charbon qui a été précédemment décrit (p. 28) à l'observation des orages. — Le dispositif dont il se sert comprend : une pile sèche, un téléphone et un radio-conducteur à poudre de charbon.

Le radio conducteur est constitué par deux électrodes en charbon, formés de petits cylindres de 4 mm de diamètre détachés d'un charbon de lampes à arc. Des fragments, obtenus par écrasement du même charbon et séchés en les faisant rougir à la flamme, constituent la limaille de charbon employée. Les fragments doivent avoir de 0,2 à 0,3 mm de diamètre. L'espace entre les électrodes ne doit pas dépasser 1 mm et doit être à moitié rempli.

Le conducteur des ondes était constitué dans les expériences de M. Tommasina par une série de 3 fils de cuivre partant d'une fenêtre du laboratoire (situé à 6 m du sol) et s'élargissant en éventail jusqu'à une terrasse ouverte de tous côtés. — Les fils étaient fixés à des isolateurs en

---

[1] Th. Tommasina. *Comptes rendus de l'Academie des Sciences*, 26 novembre 1900.)

verre paraffiné et les extrémités extérieures des fils étaient terminés par des tubes en caoutchouc de manière à ne pouvoir pas être mouillés par la pluie sur les quatre derniers mètres. — Les isolateurs se trouvaient à 12 m du sol et à 3 m de distance l'un de l'autre. Les fils avaient chacun 30 m de longueur. — Dans le laboratoire la mise à la terre était assurée au moyen des conduites d'eau.

Pour éviter tout danger, lorsque l'orage se rapprochait trop on supprimait toute communication avec la terre et avec les fils extérieurs qui demeuraient ainsi isolés à leurs deux extrémités.

Le bruit que l'on perçoit dans le téléphone de ce dispositif (auquel M. Tommasina donne le nom d'*électro-radiophone*), lorsqu'un orage lointain a lieu, donne l'illusion de se trouver transporté à proximité de l'orage de façon à pouvoir en suivre toutes les phases.

Nous empruntons à M. Tommasina la description suivante de l'observation d'un orage avec l'électro-radiophone :

« Le 29 septembre, jusqu'à midi, le temps avait été « très beau, mais l'électro-radiophone, depuis le matin, « continuait à indiquer, par les bruits très variés et de « légers chocs très nets, les décharges se produisant cer- « tainement à des distances très grandes. Vers 2 heures. « la sonnerie se fit entendre et, dans le téléphone, j'écou- « tais des bruits de plus en plus énergiques. Il y en avait « qui ressemblaient à certains coups de tonnerre prolon- « gés ; c'étaient des décharges nombreuses très rappro- « chées et d'intensité variable. Ensuite la sonnerie donna « des signaux moins distants entre eux, et à 3 h. 30 j'ai « dû la mettre hors circuit ; elle ne s'arrêtait plus de « sonner. Les éclairs devinrent visibles, de gros nuages « commençaient à se former un peu partout, aucun ton- « nerre ne s'entendait encore, mais dans le téléphone « les bruits toujours plus intenses se modifièrent tout à

« coup : j'entendais comme un crépitement très serré, « égal et continu ; quelques instants après, la pluie com- « mença, et en même temps le premier coup de tonnerre « se fit entendre très énergiquement. J'avais à peine « enlevé les communications qu'un orage d'une force « inouïe éclata ; des trombes d'eau balayèrent les rues, « les éclairs se suivaient presque sans interruption, et la « foudre tomba en plusieurs endroits très proches. Plus « tard j'ai pu encore écouter dans mon appareil les der- « nières décharges très lointaines jusqu'à leur complète « disparition.

« Lorsque le temps changeait sans qu'il y eut d'orage, « j'entendais cependant toujours le crépitement carac- « téristique que je viens de mentionner, fait que j'ai « constaté même douze heures avant la tombée de la « pluie. »

LISTE DE BREVETS D'INVENTION

BREVETS FRANÇAIS, PATENTES ANGLAISES, ALLEMANDES ET AMÉRICAINES

Brevets français. — (Télégraphie hertzienne.)

24 novembre 1896. 261 602. — MARCONI. Perfectionnements dans la transmission des impulsions et des signaux électriques ainsi que dans les appareils employés à cet effet.

26 octobre 1897. 271 641. — TESLA. Perfectionnements dans les systèmes de transmission de l'énergie électrique et dans les appareils employés à cet effet.

18 novembre 1897. 272 284. — DUCRETET. Dispositif d'ensemble de récepteurs enregistreurs des ondes électriques émises et transmises à distance.

19 novembre 1897. 261 602. — MARCONI. Certificat d'addition au brevet n° 261 602 du 24 novembre 1896.

24 janvier 1898. 274 321. — DUCRETET. Perfectionnements dans la construction des appareils télégraphiques enregistreurs à signaux genre Morse.

12 mars 1898. 275 892. — BAUER. Télescope électromagnétique pour transmettre des écrits, des dessins, des images et des vues de toutes sortes à grande distance.

24 mars 1898. 276 276, — DUCRETET. Dispositifs de manipulateurs à main pour les forts courants électriques.

26 mai 1898. 274 321. — DUCRETET. Certificat d'addition au brevet n° 274 321 du 24 janvier 1898.

22 août 1898. 274 321. — DUCRETET. Certificat d'addition au brevet n° 274 321 du 24 janvier 1898.

29 novembre 1898. 283 521. — MARCONI et THE WIRELESS TELEGRAPH AND SIGNAL C° LD. Perfectionnements dans les appareils employés dans la télégraphie sans fil.

4 janvier 1899. 284 663. — BRAUN. Système de télégraphie sans fil.

4 janvier 1899. 284 664. — Braun. Système de télégraphie sans fil.

9 février 1899. 285 752. — Braun. Procédé pour obtenir à l'aide de condensateurs le renforcement des ondes électriques et en éviter la déperdition par dispersion, réflexion, etc.

16 mars 1899. 286 896. — Société The Wireless Telegraph and Signad C° Ld. Perfectionnements dans les appareils de la télégraphie sans fil.

24 mars 1899. 287 172. — Schafer, Renz et Lippold. Récepteur d'ondes hertziennes applicable à la traduction de ces ondes en signaux perceptibles.

20 avril 1899. 288 045. — Tommasi. Perfectionnements dans la télégraphie sans fil.

8 mai 1899. 288 623. — Braun. Récepteur pour la télégraphie sans fil par ondes électriques.

13 mai 1899. 288 794.— Orling, Braunerhjelm, Lonnovist, Sjogren et Huselius. Récepteur à sensibilité réglable pour ondes de lumière, de chaleur ou d'électricité.

24 mai 1899. 289 158. — Ducretet. Tube radioconducteur à réglage.

24 mai 1899. 289 178.— Orling et Braunerhjelm. Perfectionnements aux radiateurs condensateurs électriques.

6 juin 1899. 283 521. — Marconi et The Wireless Telegraph and Signal C° Ld. Certificat d'addition au brevet n° 283 521 du 21 novembre 1898.

21 juin 1899. 290 127. — Spath. Nouveau cohéreur pour la télégraphie sans fil.

8 juillet 1899. 290 652. — Berner. Tube vitreux tri ou multipolaire vibrateur pour la télégraphie sans fil, etc.

22 juillet 1899. 291 065. — Lévy. Procédé et appareil pour la fermeture temporaire d'un courant électrique à grande distance au moyen de rayons Hertz.

3 novembre 1899. 293 957. — Guarini. Répétiteur Guarini pour télégraphie sans fil.

1er décembre 1899. 294 840. — Louis et Jean Lecarme. Perfectionnements aux interrupteurs pour courant électrique.

23 décembre 1899. 295 566. — Guarini Foresio. Transmission de l'énergie électrique par l'éther.

9 janvier 1900. 295 996. — Ferrié. Application d'un contact imparfait pour la réception des signaux dans les installations télégraphiques ordinaires la transmission étant faite au moyen de courants alternatifs.

22 janvier 1900. 296 354. — Popoff. Récepteur téléphonique des dépêches envoyées au moyen des oscillations électromagnétiques par signaux de l'alphabet Morse.

9 avril 1900. 299 042. — Dervin. Perfectionnements aux radioconducteurs électriques.

17 avril 1900. 299 336. — Cerebotani et Moradelli. Télégraphe imprimeur pour télégraphe avec ou sans fil.

30 avril 1900. 299 855. — Tommasina. Appareil récepteur téléphonique de signaux par ondes hertziennes.

22 mai 1900. 300 573. — Eglin. Perfectionnements dans la télégraphie sans fil.

31 mai 1900. 300 808. — Lecarme Jean, Lecarme Louis et Michel. Perfectionnements à la télégraphie sans fil.

5 juin 1900. 300 963. — Wilson. Perfectionnements dans les appareils employés dans la télégraphie sans fil.

14 juin 1900. 301 264. — Rodriguez Garcia. Système de télégraphie sans fil par ondes hertziennes.

18 juin 1900. 301 355. — Maréchal. Michel et Dervin. Perfectionnements à la télégraphie sans fil.

25 juin 1900. 301 615. Tissot et Rochefort. Tube radioconducteur à électrodes polarisées.

10 juillet 1900. 302 052. — de Chimkevitch. Combinateur déclencheur pour appareils de télégraphie sans fil.

13 juillet 1900. 302 190. — Pupin. Méthode et appareil pour réduire l'atténuation des ondes électriques.

11 août 1900. 302 968. — Braunerhjelm. Perfectionnements apportés aux dispositifs d'émission d'ondes électriques dites ondes hertziennes.

14 août 1900. 303 022. — Blochmann. Système de télégraphie par rayons électriques dans toutes directions voulues.

28 août 1900. 303 305. — Wilson. Perfectionnements dans la télégraphie sans fil.

12 septembre 1900. 303 674. — Marconi et The Wireless Telegraph and Signal C° Ld. Perfectionnements dans la télégraphie sans fil.

14 septembre 1900. 303 743. — Marconi et The Wireless Telegraph and Signal C° Ld. Système perfectionné de télégraphie sans fil.

17 octobre 1900. 304 613. — Ducretet. Tube radioconducteur démontable et hermétique.

2 novembre 1900. 305 038. — Laurent et Montreuille. Téléphonie sans fil.

3 novembre 1900. 305 052. — Pilsoudoky. Système électrique de transmissions télégraphiques ou téléphoniques sans fil.

3 novembre 1900. 305 060. — Marconi et The Wireless Telegraph and Signal C° Ld. Perfectionnements dans la télégraphie sans fil.

Brevets français. — (Haute fréquence.)

22 septembre 1896. 259 940. — Tesla. Perfectionnements à la production et à l'utilisation des courants électriques de haute fréquence.

5 novembre 1896. 261 015. — MILLER. Appareil pour obtenir des décharges électriques alternatives de haute fréquence.

27 mai 1898. 278 372. — MOORE. Système perfectionné de tubes d'éclairage et appareils pour leur emploi.

27 mai 1898. 278 373. — MOORE. Perfectionnements dans les appareils électriques servant à produire la lumière.

26 juin 1899. 290 269. — VOLK et VESELY. Dispositifs d'éclairage avec des tubes à vide.

15 février 1900. 297 228. — D'ARSONVAL. Moyen mécanique pour empêcher la formation de l'arc ou de chenille de feu dans les appareils électriques.

2 mars 1900. 297 768. — D'ARSONVAL. Système de bobine d'induction pour la production de courants de haute fréquence.

31 mai 1900. 300 818. — D'ARSONVAL et GAIFFE. Dispositif permettant l'emploi des courants de haute fréquence pour la production d'une source calorifique.

Patentes anglaises (¹).

1896. 12 039 (*). — MARCONI (G.). Perfectionnements dans la transmission des impulsions et des signaux électriques ainsi que dans les appareils employés à cet effet.

1897. 18 644 (*). — LODGE et MUIRHEAD. Système syntone de télégraphie sans fil.

1897. 29 306 (*). — MARCONI et THE WIRELESS TELEGRAPH AND SIGNAL C° L^d. Perfectionnements dans les appareils employés en télégraphie sans fil.

1898. 12 325 (*). — MARCONI et THE VIRELESS TELEGRAPH AND SIGNAL C° L^d. Perfectionnements dans les appareils employés en télégraphie sans fil.

1898. 12 326 (*). — MARCONI et THE VIRELESS TELEGRAPH AND SIGNAL C° L^d. Perfectionnements dans les appareils employés en télégraphie sans fil.

1898. 11 575 (*). — LODGE. Perfectionnements au système syntone de télégraphie sans fil.

1899. 1 698. — ORLING et BRAUNERHJELM. Dispositif pour mesurer la distance entre les objets placés dans une enceinte opaque et applicable aux récepteurs d'ondes électriques, lumineuses ou calorifiques.

1899. 1 862 (*). — BRAUN. Transmission de signaux télégraphiques sans fil.

(¹) (*) Les brevets dont les numéros sont suivis d'un astérisque sont ceux dont une analyse ou une traduction est donnée dans l'appendice.

1899. 1 863 (*). — Braun. Transmission de signaux sans fil.
1899. 1 865 (*). — Orling et Braunerhjelm. Méthode et appareils de commande de gouvernails au moyen des ondes électriques, lumineuses ou calorifiques.
1899. 1 866 (*). — Orling et Braunerhjelm. Récepteur pour ondes électriques, lumineuses ou calorifiques.
1899. 1 867 (*). — Orling et Braunerhjelm. Régulateur de la sensibilité des ondes électriques, lumineuses et calorifiques.
1899. 5 104 (*). — Braun. Renforcement des ondes électriques et annulation des pertes par réflexion, diffusion, etc., au moyen de condensateurs.
1899. 5 543 (*). — Cohen et Cole. Système sélecteur multiple de télégraphie sans fil.
1899. 5 547 (*). — Marconi et The Wireless Telegraph and Signal C^{o} L^{d}. Appareils pour la télégraphie sans fil.
1899. 6 002 (*). — Schafer, Renz et Lippold. Récepteur d'ondes hertziennes pour télégraphie sans fil.
1899. 6982 (*). — Marconi et The Wireless Telegraph and Signal C^{o} L^{d}. Perfectionnements dans les appareils employés en télégraphie sans fil.
1899. 7 641 (*). — Cole et Cohen. Relais pour télégraphie sans fil.
1899. 9272. — Greville Williams. Appareils de télégraphie sans fil.
1899. 9791 (*). — Ducretet. Perfectionnements aux appareils de réception des ondes électriques de Hertz.
1899. 10406. — Miller. Télégraphie sans fil.
1899. 12 420 (*). — Braun. Télégraphie sans fil.
1899. 19 640. — Armstrong et Orling. Appareil à ondes électromagnétiques.
1899. 19710. — Brown. Télégraphie sans fil.
1899. 20 084. — Cervera Baviera. Méthode et procédé pour transmettre et recevoir les ondes électriques destinées à la production de signaux ou la mise en mouvement de machines et appareils.
1899. 23 047. — Ducretet. Tube radioconducteur.
1899. 25 186 (*). — Marconi et The Wireless Telegraph and Signal C^{o} L. Perfectionnements dans les appareils employés en télégraphie sans fil.
1900. 2 797 (*). — Popoff. Cohéreur pour signaux télégraphiques et téléphoniques.
1900. 6684 (*). — Dervin. Perfectionnements aux cohéreurs électriques.
1900. 7 781. — Robinson. Appareil pour télégraphie sans fil.
1900. 9458. — Eglin. Télégraphie sans fil.
1900. 10 312 (*). — Wilson. Perfectionnements dans les connexions des appareils de télégraphie sans fil.

1900. 10 406. — Wilson (Ch.-Edwin). Perfectionnements à la télégraphie sans fil.

1900. 12 733. — Pupin. Réduction de l'amortissement des ondes électriques et appareil correspondant.

1900. 13 643. — Maréchal, Michel et Dervin. Télégraphie sans fil.

1900. 14 281. — Ferrié. Télégraphie au moyen de courants alternatifs et de contacts imparfaits.

Patentes allemandes.

3 décembre 1896. 13 461. — Marconi et The Wireless Telegraph and Signal C° Ld. Dispositif pour télégraphier au moyen des ondes électriques.

22 décembre 1898. 12 720. — Slaby et Arco. Installation d'une station transmettrice et réceptrice pour télégraphier par étincelles avec antenne verticale.

5 juin 1898. 104 115. — K. Zickler. — Dispositif pour télégraphier au moyen de rayons électriques de petites longueurs d'onde.

7 septembre 1898. 104 521. — Siemens et Halske. Cohéreur à limaille de chrome.

27 novembre 1898. 105 983. — Orling, Braunerhjelm, Sjorgen, Huselius et Lonnovist. Récepteur d'ondes électriques à sensibilité réglable.

13 décembre 1898. 107 483. — Neugschwender. Procédé pour déceler les ondes électriques.

16 décembre 1898. 109 059. — Orling, Braunerhjelm, Sjorgen, Huselius et Lonnovist. — Excitateur pour la production des ondes électriques.

14 octobre 1898. 111 578. — F. Braun. Dispositif de manipulateur relié à un conducteur aérien pour télégraphie sans fil.

23 janvier 1898 111 618. — O.-J. Lodge. Système de télégraphie électromagnétique.

29 novembre 1898. 113 068. — Orling. Procédé et appareil pour décohérer les cohéreurs à boules.

13 juillet 1898. 115 081. — F. Braun. Système télégraphique sans conducteur continu.

22 février 1899. 14 917. — L.-H. Walter. Procédé et appareillage pour la commande à distance d'un mécanisme au moyen des ondes de Hertz.

21 septembre 1899. 15 544. — Marconi et The Wireless Telegrap and Signal C° Ld. Commutateur pour mettre alternativement le conducteur aérien en relation avec les stations transmettrice et réceptrice dans la télégraphie sans fil.

15 avril 1899. 109 797. — Berner. Cohéreur tripolaire.

25 avril 1899. 11 285. — A. SLABY. — Dispositif de récepteur pour télégraphie sans fil.

23 mars 1900. 7 021. — ALLGEMEINE ELEKTRICITÆTS GESELLSCHAFT. Cohéreurs à électrodes mobiles et sensibilité réglable.

4 janvier 1900. 13 221. — SIEMENS et HALSKE. Cohéreur pour ondes électriques.

8 février 1900. 13 342. — SLABY et ARCO. Appareil récepteur pour télégraphie sans fil.

8 février 1900. 13 648. — SLABY et ARCO. Appareil récepteur pour télégraphie sans fil avec source d'électricité commune pour le Morse et le cohéreur.

9 avril 1900. 26 760. — BULL. Récepteur pour la télégraphie sans fil.

Patentes américaines.

6 mars 1899. 643 018. — HEATHCOTE WALTER (L.). Appareils pour utiliser des ondes hertziennes et ondes similaires.

20 mai 1899. 650 255. — KITSEE. Télégraphie sans fil.

26 mai 1899. 651 014. — KITSEE et WILSON. Télégraphie dans l'espace.

22 mai 1899. 665 957. — DUCRETET. Récepteur d'ondes hertziennes.

12 octobre 1899. 650 109. — G. MARCONI. Appareil de télégraphie sans fil.

21 novembre 1899. 644 497. — COLLINS. Télégraphie sans fil.

14 décembre 1899. 652 230. — KITSEE. Appareil pour éviter l'amortissement des ondes électriques.

26 décembre 1899. 647 007. — G. MARCONI. Appareil de télégraphie sans fil.

26 décembre 1899. 647 008. — G. MARCONI. Appareil de télégraphie sans fil.

26 décembre 1899. 647 009. — G. MARCONI. Appareil de télégraphie sans fil.

28 décembre 1899. 650 110. — G. MARCONI. Appareil de télégraphie sans fil.

20 mai 1900. 651 361. — KITSEE. Télégraphie sans fil.

20 mai 1900. 651 362. — KITSEE. Télégraphie sans fil.

20 mai 1900. 651 363. — KITSEE. Télégraphie sans fil.

15 septembre 1900. 657 222. — KITSEE. Télégraphie sans fil.

15 septembre 1900. 657 223. — KITSEE. Télégraphie sans fil.

15 septembre 1900. 657 224. — KITSEE. Télégraphie sans fil.

17 juillet 1900. 668 315. — G. MARCONI. Récepteur d'ondes électriques.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

Anders Bull. *The Electrician*, t. XLVI, p. 573, 8 février 1901.

Armagnat. Les bobines d'induction à l'Exposition universelle, *Éclairage Électrique*, t. XXVI, 5 janvier 1901.

— Sur la théorie de la bobine d'induction, *Ibid.*, t. XXII, 17 janvier 1900.

Arons. *Wiedemann's Annalen*, t. LXV, p. 567, 1898.

Arsonval (d'). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 17 avril 1900.

Aschkinass. *Wiedemann's Annalen*, t. LXVII, p. 842, 1899.

Bergonié. *Archives d'électricité médicale*, 15 février 1900.

Bjerkness (V). Ueber die Dampfung schneller elektrischer Schwingungen. *Wiedemann's Annalen*, t. XLIV, p. 74, 1891.

— Sur le mouvement de l'électricité dans l'excitateur de Hertz. *Archives de Genève*, 3e période, t. XXVI, p. 229, 1891.

Blochmann. Une nouvelle théorie de la télégraphie dite sans fil. *Revue générale des Sciences*, 15 février 1901.

Blondel. Quelques remarques et expériences sur les cohéreurs. *Association française pour l'avancement des Sciences*. Congrès de Nantes, 1898.

— Sur la théorie des antennes dans la télégraphie sans fil. *Ibid.*, Congrès de Nantes, 1900.

— Sur la syntonie dans la télégraphie sans fil. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 21 mai 1900.

Blondel et Dobkévith. Sur la sensibilité maxima des cohéreurs employés pratiquement dans la télégraphie sans fil. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 23 avril 1900.

Blondel et Ferrié. Rapport sur la télégraphie sans fil. *Congrès international d'Électricité. Éclairage Électrique*, t. XXIV, 29 septembre 1900.

Blondin. Système syntone de télégraphie par ondes hertziennes

Lodge et Muirhead. *Éclairage Électrique* t. XXVIII, 21 janvier 1899.
— Congrès international d'électricité. *Éclairage Électrique*, t. XXIV, 29 septembre 1900.
Blondlot. *Journal de physique*, 2e série, t. X, p. 549.
Boggio Lera. *Atti dell Accademia Giœnia di Scienze di Catania*, 20 janvier 1900.
Bonetti. *Société internationale des Électriciens*, 7 février 1894.
Bordier. *Archives d'Electricité médicale*, 15 janvier 1901.
Boulanger et Ferrié. Les ondes électriques et la télégraphie sans fil. (Berger-Levrault, Paris, 1899.)
Branly. Les radio-conducteurs. *Rapports présentés au Congrès international de Physique*, Paris, 1900, t. II, p. 325.
— *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 12 février 1894.
— *Société française de Physique*, avril 1891.
Broca. Sur le rôle de l'antenne dans la télégraphie sans fil. *Association française pour l'avancement des Sciences*, Congrès de Nantes 1898.
— La télégraphie sans fil. (Gauthier-Villars, Paris, 1899.)
Caldwell. *The Electrical Review*, t. XLIV, p. 837, mai 1899.
Crémieu. *Société française de physique*, 4 février 1898.
Décombe. *Annales de Physique et Chimie*, t. XV, p. 156, 1898.
Ducretet et Lejeune. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXIV, p. 1342, 14 juin 1897.
Federico et Baccei. Rendiconti della Reale Academia dei Lincei, t. VIII, p. 347, 17 décembre 1899.
Ferrié. Sur les cohéreurs décohérents et sur un essai de théorie des cohéreurs en général. *Congrès international d'Électricité. Éclairage Électrique*, t. XXIV, 29 septembre 1900.
Gray. Les machines électriques à influence. *Traduction de M. G. Pelissier*, 1892.
Grimsehl, *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, p. 491, 14 juin 1900.
Guilloz. *Société française de Physique*, 2 décembre 1898.
Gutton. Thèse, Paris, juin 1899.
Hauswaldt, *Wiedemann's Annalen*, t. LXV, mars 1898.
Hertz. Recherches sur les ondulations électriques. *Archives de Genève*, 3e période, t. XXI, p. 286, 1889.
Hofmeister. *Wiedemann's Annalen*, t. LXII, p. 379, 1897.
Jégou. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 26 novembre 1900.
Lamotte. Cohéreurs ou radio-conducteurs. *Éclairage Électrique*, t. XXII, 31 mars 1900.
— La télégraphie sans fil. *Éclairage Électrique*, t. XXVI, 1901.
Lecher. Eine Stude über Elektrische Resonanzerscheinungen. *Sit-*

zungsberitche der Akademia der Wissenschaften, 24 april 1890.

Lœvy (Max). *Die Elektrizitat*. 13 janvier 1900.

Margot. *Archives de Genève*, 4e période t. III, p. 554, 15 juin 1897.

Moore (Mac Farlan). *Annales du laboratoire de Newark* (New-Jersey), 1897.

Nils Strindberg. Sur la résonnance multiple des oscillations électriques. *Archives de Genève*, 3e période, t. XXXII, p. 129, 1894.

Neugswender. *Wiedemann's Annalen*, t. LXVIII, p. 92.

Oudin. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 6 juin 1898.

Pellat. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 20 et 27 mars 1899.

Pidgeon. *Philosophical Magazine*, février 1894.

Poincaré (H.). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, août 1890.

— La théorie de Maxwell et les oscillations hertziennes. *Collection Scientia*. Carré et Naud, Paris 1899.

Popoff. *Journal de la Société physico-chimique russe*, vol. 28-29, 1896.

— *Elektritchestvo*, octobre 1895.

Righi. L'optique des oscillations électriques. *Archives de Genève*, 4e période, t. IV, p. 401, 1897.

— *Rendiconti della reale Academia dei Lincei*, vol, VI, fasc. 9, p. 245, 7 novembre 1897.

— Les ondes hertziennnes. *Rapports présentés au Congrès international de Physique de Paris*, 1900, t. II, p. 308.

Rothé. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 30 octobre 1899

Ruhmer. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, p. 331, 26 avril 1900.

Sarasin et de la Rive. Sur la résonance multiple des ondulations électriques. *Archives de Genève*, 3e période, t. XXIII, p. 113, 1890.

Slaby. *Elektrotechnischè Zeitschrift*, t. XXII, p. 38, 10 et 24 janvier 1901.

Simon. *Wiedemann's Annalen*, t. LXVIII, p. 850, 8 août 1899.

Tesla. *Electrical Engineer de New-York*, 18 mars 1891. *Ibid.*, 1897.

— *Institut américain des Ingénieurs électriciens de Colombia* (New-York), 20 mai 1891.

Tissot. Sur l'emploi de nouveaux radio-conducteurs pour la télégraphie sans fil. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 2 avril 1900.

— Communications par télégraphie à l'aide de radio-conducteurs à électrodes polarisées. *Ibid.*, 21 mai 1900.

— Congrès international d'électricité. *Éclairage Électrique*, t. XXIV, 29 septembre 1900, p. 489.
— *Société française de Physique*, 17 mars 1899.
THOMSON (Elihu). *The Electrical Engineer* (New-York), t. XXIV, p. 77, 29 juillet 1897.
— *Ibid.*, février 1892.
— *Electrical World*, 2 avril 1892.
TOMMASI. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 14 mai 1900.
TOMMASINA. *Archives de Genève*. 4e période, t. IX, 15 mai 1900.
— *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXX, p. 904, 1900.
TURPAIN. Sur les expériences de Hertz. *Procès-verbaux de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 4 avril 1895.
— Sur divers procédés d'observations de la résonance électrique. *Ibid.*, 23 décembre 1897.
Sur le résonateur de Hertz. *Ibid.*, 20 janvier 1898. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 31 janvier 1898.
— Sur le champ hertzien. *Ibid.*, 31 mars 1898. *Comptes rendus*, 28 mars 1898.
— Le nouveau domaine de l'électricité. Les expériences de Hertz et leurs applications pratiques. *Société des Sciences naturelles de la Rochelle*, 18 juin 1898.
— Sur la multi-communication en télégraphie au moyen des oscillations électriques. *Procès-verbaux de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 23 juin 1898. *Comptes rendus*, 26 décembre 1898.
— Sur le résonateur à coupure. *Procès-verbaux de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 21 juillet 1898.
— Recherches expérimentales sur les oscillations électriques. (A. Hermann, Paris, 1899).
— Sur les applications possibles de la télégraphie dite sans fil. *Éclairage Electrique*, 2 septembre 1899.
— Une application des oscillations électriques à la télégraphie. Le problème de la multi-communication en télégraphie. (*Revue scientifique*, 3 mars 1900.)
— Sur la télégraphie sans fil. *Association française pour l'avancement des Sciences*. Congrès de Boulogne, 1899.
— Etude comparative des diverses formes de l'interrupteur Wehnelt. *Procès-verbeaux de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 25 janvier 1900. *Comptes rendus*, 12 février 1900.
— Application des ondes électriques à quelques problèmes de télégraphie. Télégraphie et téléphonie simultanées. *Société française de physique*, 21 avril 1900. *Journal de physique*, août 1900.

— Transmission duplex et diplex par ondes électriques. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 14 mai 1900.
— Dispositifs simples de cohéreurs à cohésion magnétique. *Association française pour l'avancement des Sciences.* Congrès de Paris, 1900.
Veillon. *Archives de Genève*, octobre 1898.
Villard. *Société française de physique*, 4 novembre 1898.
— *Journal de Physique*, janvier 1901.
— *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 17 avril 1899.
Webster. *American Journal of Sciences*, t. III, mai 1897.
Wehnelt. *Wiedemann's Annalen*, t. LVIII, p. 233, p. 860, 1899.
Wydts et de Rochefort. *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, novembre 1897, décembre 1898.
— *Société française de physique*, 6 mai 1890.
Zehnder. *Wiedemann's Annalen*, t. XLVII, n° 9, p. 77.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE II

ENTRETIEN D'UN EXCITATEUR EN ACTIVITÉ.
SOURCES D'ÉLECTRICITÉ. — MACHINES ÉLECTRIQUES.
BOBINES D'INDUCTION ET INTERRUPTEURS.

CHAPITRE III

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A LA TÉLÉGRAPHIE. TÉLÉGRAPHIE SANS FIL.

CHAPITRE IV

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A LA TÉLÉGRAPHIE (suite).

TÉLÉGRAPHIE AVEC CONDUCTEUR.

CHAPITRE V

COURANTS DE HAUTE FRÉQUENCE

CHAPITRE VI

APPLICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES A L'ÉCLAIRAGE.

APPENDICE

TABLE DES NOMS D'AUTEURS

TABLE ALPHABÉTIQUE

A

B

D

E

F

G

H

I

J

L

M

N

O

P

Q

R

S

T

U

V

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

